TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DU

Dr NESTOR GRÉHANT

PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

PARIS

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

—

1905

à mon savant Collègue Mr le Professeur Blanchard Membre de l'Académie de Médecine
Hommage de son reconnaissant et dévoué, N Gréhant

TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DU

Dr NESTOR GRÉHANT

PROFESSEUR DE PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

PARIS

FÉLIX ALCAN, ÉDITEUR

108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108

—

1905

TABLE DES MATIÈRES

TITRES

GRADES UNIVERSITAIRES

Licencié ès sciences physiques	1858
Docteur en médecine	1864
Licencié ès sciences naturelles	1868
Docteur ès sciences naturelles	1870

SOCIÉTÉS SAVANTES

Membre de la Société de Biologie. 1867

Vice-Président de la Société. 1886

Membre de la Société de Physique.

Président honoraire de la Société française d'Hygiène.

Membre de la Société d'Hygiène alimentaire et de l'alimentation rationnelle de l'homme.

Correspondant du Sanitary Institute de Londres.

Correspondant de l'Académie des sciences naturelles de Philadelphie.

FONCTIONS UNIVERSITAIRES

Préparateur des cours de Physique et de Chimie au lycée Napoléon, actuellement Henri IV. Professeurs : MM. Ed. Desains et Ch. d'Almeida. . 1856-1866

Préparateur du cours de Physiologie générale à la Faculté des sciences de Paris. Professeur : M. Claude Bernard. 1865

Préparateur du cours de Médecine au collège de France. Professeur : M. Claude Bernard. 1866

Aide-naturaliste à la chaire de Physiologie générale, au Muséum d'histoire naturelle. 1868

Chef des travaux physiques et chimiques au laboratoire de Physiologie générale de l'École des Hautes Études. 1869

Cours libre de Physiologie, professé à l'École pratique de la Faculté de médecine. 1871-1872

Professeur suppléant d'Histoire naturelle aux lycées Henri IV et Condorcet. . . . . : 1872-1873

Professeur suppléant à la Faculté des Sciences de Paris. Professeur : M. Paul Bert. 1872-1874

Chargé de suppléer M. le Professeur Rouget au Muséum d'histoire naturelle. 1886-1891

Directeur adjoint du laboratoire de Physiologie générale de l'École des Hautes Études. 1887

Professeur intérimaire de Physiologie générale. . . 1892

Professeur titulaire. 1893

Directeur du laboratoire de Physiologie générale de l'École des Hautes Études.

RÉCOMPENSES OBTENUES

Recherches physiques sur la respiration de l'homme. Thèse pour le Doctorat en médecine. Médaille d'argent. 1863

Recherches physiologiques : 1° sur l'excrétion de l'urée par les reins ; 2° sur la respiration des poissons. Thèse pour le Doctorat ès sciences naturelles. (La moitié du Prix Trémont décerné par la Faculté des Sciences.) 1870

Prix Montyon, de Médecine et de Chirurgie, décerné par l'Académie des Sciences pour les recherches physiologiques et médicales sur la respiration de l'homme. 1870

Prix Chatauvillard (en partie). Faculté de Médecine. . 1870

Concours des Prix Montyon. Mention honorable. . . 1880

Concours des Prix Montyon. Citation. 1881

Concours des Prix Montyon. Mention honorable partagée avec M. Quinquaud, pour le travail sur la mesure de la quantité de sang.. 1882

Prix Montyon de Physiologie expérimentale, décerné par l'Académie des Sciences pour de nouvelles recherches sur le mode d'élimination de l'oxyde de carbone. 1886

Prix Buignet. Académie de médecine. 1887

Prix Perron. Académie de médecine. 1890

Prix Montyon (Arts insalubres). Académie des Sciences. 1891

Officier de l'Instruction publique.

Chevalier de la Légion d'honneur.

DIVISION DES TRAVAUX

Je diviserai cette notice en sept chapitres:

I. Étude du sang. Circulation.
II. Respiration.
III. Sécrétions.
IV. Système nerveux. Énergie musculaire.
V. Toxicologie.
VI. Hygiène expérimentale.
VII. Varia, comprenant les travaux qui n'ont pu être classés dans les divisions précédentes.

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE DU SANG — CIRCULATION

Appareil pour l'extraction des gaz contenus dans les liquides. *Société de Biologie*, 1869, p. 329.

Dès 1869 j'avais fait connaître l'appareil qui devait me servir à l'extraction des gaz contenus dans les liquides, dans le sang en particulier. Il se composait, en principe, d'un ballon à très long col, en communication avec la pompe à mercure, le col du ballon était entouré d'un réfrigérant; l'extraction des gaz se faisait par la manœuvre ordinaire de la pompe.

J'ai modifié légèrement cet appareil bien des fois depuis cette époque et je donne ci-dessous la représentation (fig. 1) de l'appareil très simplifié journellement employé dans mon laboratoire et qui me donne d'excellents résultats.

Un ballon à long col de modèle ordinaire est fermé par un bouchon d'où partent deux tubes; l'un est mis en communication avec la pompe à mercure par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc à vide sur lequel se trouve une puissante pince de Mohr (perfectionnement de L. Camus), l'autre tube est muni d'un robinet (métallique de préférence), et, à son extrémité, un tube de verre permet d'atteindre la partie moyenne du ballon; c'est par ce robinet que se fait l'introduction du liquide

dont on veut extraire les gaz. Le contenu du ballon peut être maintenu à 100°, il n'y a pas de distillation dans le réservoir fixe de la pompe à mercure grâce, justement, à la pince de Mohr placée sur le tube de caoutchouc de communication, cette pince n'est, en effet, ouverte qu'un instant très court au moment de la manœuvre de l'extraction.

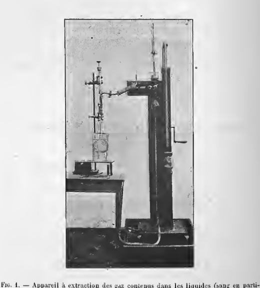


Fig. 1. — Appareil à extraction des gaz contenus dans les liquides (sang en particulier). On a figuré la seringue de physiologie dans la position de l'introduction du liquide qui y est contenu dans le ballon vide.

Ce qui caractérise enfin cet appareil, c'est l'adjonction de fermetures hydrauliques partout où l'on aurait à craindre des rentrées d'air.

Note sur l'acide carbonique du sang (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1886, p. 218.

Le sérum, placé dans le vide, abandonne difficilement son acide carbonique. C'est un fait exact sur lequel tous les hématologistes sont d'accord ; mais cet abandon est rendu beaucoup plus facile si l'on fait passer dans l'appareil à vide contenant le sérum, une petite quantité de globules privés de gaz ; les choses se passent comme si l'on avait ajouté un acide.

Nous avons reconnu que l'addition au sérum de poudre de lycopode ou de sesquioxyde de fer en poudre rend plus facile la dissociation de l'acide carbonique et nous avons conclu de nos expériences que les globules paraissent aider cette dissociation à la manière des agents physiques et mécaniques, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir un acide.

Nous avons reconnu en outre que dans le sang altéré l'acide carbonique existe en plus grande quantité dans les globules que dans le sérum, tandis que le contraire a lieu lorsque le sang est frais, comme l'ont démontré de nombreux travaux.

Recherches comparatives sur l'absorption des gaz par le sang. Dosage de l'hémoglobine. *Comptes Rendus,* 1872, t. LXXV, p. 495.

Comparaison entre le volume d'oxygène contenu dans le sang artériel et le plus grand volume d'oxygène que le sang peut absorber. *Société de Biologie,* 1872, p. 214.

Le sang artériel du chien ne renferme presque jamais la quantité totale d'oxygène qu'il pourrait absorber.

Deux expériences comparatives très simples ont permis de démontrer ce fait : 100 centimètres cubes de sang pris dans l'artère carotide contenaient 16^{cc},3 d'oxygène, tandis que 100 centimètres cubes du même sang agités avec de l'oxygène contenaient 26^{cc},8 de ce gaz (capacité respiratoire). Le rapport 16/27 donne une mesure exacte de l'*effet utile* de la respiration pulmonaire quant à l'absorption de l'oxygène. Il est

évident que ce nombre doit varier beaucoup chez l'homme comme chez les animaux, il doit dépendre de la constitution, de l'amplitude des mouvements respiratoires qui renouvellent plus ou moins parfaitement l'air dans les poumons, de la rapidité du cours du sang à travers les poumons; il doit dépendre aussi chez le même individu de l'état de santé ou de maladie.

Un grand nombre d'expériences ont prouvé que, chez des chiens différents, la capacité respiratoire du sang peut varier de 13 à 32, c'est-à-dire dans des limites très étendues; ces nombres sont proportionnels aux quantités d'hémoglobine contenue dans le sang et peuvent servir à doser cette substance[1].

Analyse du sang. *Société de Biologie,* 1870, p. 46.

J'ai proposé comme moyen simple d'analyse du sang applicable à l'étude de ce liquide, dans les maladies et dans diverses conditions établies expérimentalement chez les animaux, le mode de traitement que j'ai employé pour la recherche de l'urée du sang. La détermination directe de l'eau contenue dans le sang présente déja des difficultés: si l'on abandonne le sang à la coagulation, le caillot placé dans une étuve à 100° est difficile à dessécher complètement, les couches superficielles forment un vernis sec qui empêche la dessiccation de la partie centrale. Je recueille un certain poids de sang non coagulé et, après l'avoir agité dans un flacon pour le défibriner, je traite le sang par le double de son volume d'alcool et j'obtiens une bouillie qui, soumise le lendemain à la presse, laisse un tourteau facile à pulvériser et qui se dessèche bien dans l'étuve; d'une autre part, on déterminera le poids du résidu de l'extrait alcoolique évaporé au bain-marie et dans ce résidu peu abondant se trouvent le glucose, l'urée et quelques sels solubles dans l'alcool.

Le tourteau pesé après dessiccation, renfermant la fibrine,

1. Il est intéressant de faire remarquer que si 100 centimètres cubes de sang peuvent absorber 25 centimètres cubes d'oxygène, 100 centimètres cubes d'eau de Seine contiennent seulement 0cc,6 d'oxygène, ou 42 fois moins.

les substances albuminoïdes et l'hémoglobine qui ont été coagulées par l'alcool, pourra ensuite être soumis à d'autres recherches.

Mesure de la quantité de sang contenu dans l'organisme d'un mammifère vivant. *Société de Biologie,* 1872, p. 9. (En commun avec M. Quinquaud). *Journal de l'anatomie et de la physiologie,* 1882, t. XVIII, p. 564-577.

Ce procédé de mesure repose sur la propriété que possède l'oxyde de carbone de donner avec l'hémoglobine des globules du sang une combinaison plus fixe que la combinaison formée par cette matière colorante avec l'oxygène, de sorte que, dans l'empoisonnement produit par l'oxyde de carbone, ce dernier gaz se substitue à l'oxygène volume à volume (Claude Bernard). D'une manière générale, pour obtenir le volume total du sang, il suffit de faire respirer à l'animal un volume de gaz homogène contenant des proportions d'oxyde de carbone bien déterminées, afin d'apprécier, après un quart d'heure par exemple, le volume d'oxyde de carbone restant, ce qui donne le volume du gaz toxique qui a été fixé par la masse du sang. D'un autre côté, on mesure la capacité respiratoire de deux échantillons de sang, l'un pris avant l'empoisonnement, l'autre après : connaissant d'une part le volume total d'oxyde de carbone fixé, et d'autre part le volume de ce gaz qui a été absorbé par 100 centimètres cubes de sang on obtient par une simple proportion le volume total cherché. Pour cette mesure, sept opérations successives sont nécessaires :

1° On prend dans une artère un premier échantillon de sang normal du volume de 30 centimètres cubes, on l'injecte dans un flacon et on le défibrine par l'agitation.

2° Dans une grande cloche graduée et fermée par un bouchon que traverse un robinet à trois voies, on compose un mélange de 5 litres d'oxygène, 1 litre d'hydrogène pur, puis autant de fois 100 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur que le poids de l'animal renferme de fois 7^{kgr},300 ; nous sommes

arrivés à cette dose qui n'est pas mortelle à la suite de nombreux tâtonnements.

3° Sur la tête de l'animal fixé sur une gouttière, on attache avec le plus grand soin, à l'aide de liens serrés, une muselière de caoutchouc; le tube par lequel se termine la muselière est réuni au robinet à trois voies de la cloche; au bout d'une minute on tourne le robinet et l'animal respire le mélange gazeux pendant 1/4 d'heure.

4° Avant que la dernière minute se soit écoulée, on prend dans l'artère un second échantillon de sang, on l'injecte dans un flacon, on le défibrine par l'agitation.

5° Dans un long tube gradué plein de mercure, on mesure 100 centimètres cubes environ de gaz restant dans la cloche, on absorbe l'acide carbonique sur le mercure et on fait à l'aide de l'eudiomètre à eau l'analyse du gaz restant pour déterminer l'hydrogène; ce qui fait connaître le volume de gaz qui restait dans la cloche et dans les poumons. (Mesure du volume des poumons par l'hydrogène, d'après le procédé de Gréhant. Voir plus loin p. 17.)

6° Un litre de gaz expiré est introduit dans un petit sac de caoutchouc et additionné de 3 à 4 litres d'air pour que le mélange ne soit plus détonant; ce mélange traverse une série de barboteurs à potasse et à eau de baryte, puis un long tube rempli de tournure de cuivre grillée et chauffée au rouge et un long tube peu incliné sur l'horizon contenant de l'eau de baryte. Le précipité de carbonate de baryte qui se forme et qui provient de la combustion de l'oxyde de carbone est laissé dans le tube; on le décompose dans le vide par un acide; le volume d'acide carbonique recueilli par la pompe à mercure correspond à un volume égal d'oxyde de carbone. (Procédé de Gréhant pour la recherche et pour le dosage de l'oxyde de carbone.)

7° On détermine les capacités respiratoires des 2 échantillons de sang, le second absorbe beaucoup moins d'oxygène que le premier; la différence des deux nombres obtenus représente le volume d'oxyde de carbone qui a été fixé par le sang.

Neuf expériences faites sur le chien nous ont donné pour le poids du sang des nombres compris entre 1/11 et 1/13,8 du poids du corps.

Sur l'arrêt de la circulation du sang produit par l'introduction d'air comprimé dans les poumons. *Comptes Rendus,* 1871, t. LXXIII, p. 274.

Chez un chien à l'état normal, la pression du sang dans l'artère fémorale, tracée par le manomètre de Fick sur le cylindre tournant de M. Marey, était égale à 12 centimètres de mercure en moyenne; on insuffla dans les poumons, par un tube fixé dans la trachée, de l'air soumis à la pression de 6 centimètres de mercure, la pression dans l'artère diminua de 12 centimètres à 5 centimètres.

La trachée d'un lapin ayant été mise en communication avec un gazomètre plein d'air à la pression de $4^{cm},2$ de mercure, la pression du sang dans l'artère carotide baissa de $13^{cm},8$ à $2^{cm},6$.

J'ai démontré directement que l'air comprimé arrête la circulation pulmonaire. J'ai introduit par la veine jugulaire chez un chien une sonde de plomb préalablement remplie d'une solution de bicarbonate de soude jusque dans la veine cave inférieure; un tube de verre ayant été fixé dans l'artère carotide, les deux vaisseaux furent unis aux deux branches d'un manomètre différentiel de Claude Bernard. Dans les conditions normales, le mercure montait du côté de la veine jusqu'à 14 centimètres; dès qu'on eut insufflé les poumons avec de l'air soumis à la pression de $6^{cm},5$ de mercure, ce métal descendit du côté de la veine et bientôt les deux niveaux furent dans un même plan horizontal; la circulation était complètement arrêtée et l'obstacle se trouvait dans les poumons; dès qu'on laissait ces organes s'affaisser, le sang arrivait en grande quantité dans l'artère.

Effets de l'insufflation pulmonaire. *Société de Biologie,* 1870, pp. 49, 116, 118.

Sur les effets de l'insufflation des poumons par l'air comprimé (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1884, t. XCIX, p. 806.

En répétant l'expérience de Gréhant faite en 1870 sur l'abaissement de la pression du sang dans les artères qui suit l'insufflation de l'air comprimé dans les poumons, nous avons observé des faits nouveaux. Le dispositif de nos expériences a été très simple : un gazomètre en zinc contenant 150 litres d'air et portant soudés à la partie supérieure deux robinets, dont l'un communiquait par un tube de caoutchouc avec un entonnoir double à déversement, servait de réservoir à air comprimé sous pression constante.

On introduisait dans l'artère carotide une canule de verre mise en rapport avec un cardiomètre de Magendie, qui avec un flotteur muni d'un style traçait sur un cylindre de M. Marey la courbe de pression normale.

Chez un chien dont la pression moyenne dans l'artère carotide était voisine de 12 centimètres l'insufflation d'air soumis à une pression de 35 millimètres de mercure a produit un abaissement de la pression égal à 7 centimètres.

L'air insufflé à la pression de 1 centimètre de mercure abaissa la pression artérielle de 4 centimètres environ.

Nous avons observé un autre fait très important : si l'on maintient dans les poumons de l'air soumis à la pression de 8 centimètres de mercure, au bout d'une minute l'animal urine, il étend les pattes et il meurt en cinq minutes environ. Le sang dans le cœur gauche et dans le cœur droit était rempli d'une mousse abondante, comme si l'on avait injecté de l'air dans les vaisseaux ; l'air insufflé avait déchiré les vésicules pulmonaires et les vaisseaux sanguins.

Chez un lapin l'air comprimé à 37 millimètres de mercure a suffi pour produire les mêmes effets.

Il est donc très dangereux, quand on pratique la respiration

artificielle chez l'homme ou chez l'enfant nouveau-né, d'introduire dans les poumons de l'air trop comprimé.

Mesure de la pression nécessaire pour déterminer la rupture des vaisseaux sanguins (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1885, t. C, p. 648. *Société de Biologie*, 1885, p. 203. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1885, t. XXI, p. 287-297.

Nous nous sommes servis d'une pompe de Regnault et d'un manomètre à air libre d'une hauteur de 10 mètres, que M. le Pr Jamin a bien voulu mettre à notre disposition (fig. 2).

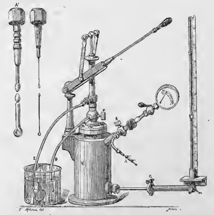


Fig. 2. — Pompe et manomètre à air libre.

Nous avons fait fixer par Golaz à la partie supérieure du récipient de la pompe un robinet de laiton à trois voies sur lequel on pouvait visser différents ajutages. On liait fortement sur ces ajutages des bouts d'artère ou de veine pris chez l'homme après la mort ou chez des animaux ; voici quelques-uns des

résultats qui ont été obtenus ; les pressions indiquées en atmosphères et dixièmes d'atmosphère ont été mesurées au moment de la rupture.

RÉSISTANCE DES ARTÈRES DE L'HOMME		RÉSISTANCE DES ARTÈRES ET DES VEINES DU CHIEN	
Enfant, âgé de 2 ans, carotide.	6^a,8	Artère carotide droite. .	6^a,9
—	7 9	— — gauche. .	7 8
Homme, âgé de 30 ans, carotide droite. .	4 7	Iliaque droite.	11 3
— gauche. .	5 9	— gauche.	7 »
Homme, âgé de 74 ans, carotide droite. .	8 9	Veine jugulaire. . . .	6 6
— gauche. .	7 9	Artère carotide droite. .	8 3
Homme, âgé de 78 ans, carotide droite. .	2 4	— — gauche. .	5 1
— gauche. .	3 5	Veine jugulaire. . . .	3·7

Nos mesures démontrent que les pressions nécessaires pour rompre les artères sont beaucoup plus grandes que celles qui existent normalement dans ces vaisseaux ; ainsi la pression du sang dans l'artère carotide d'un chien étant de 15 centimètres environ, ce vaisseau s'est rompu dans un cas à 8^a,3, c'est-à-dire sous une pression de 630^{cm},8 ou quarante-deux fois plus grande.

Expériences comparatives sur la respiration élémentaire du sang et des tissus (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1888, t. CVI, p. 1439.

En employant le dispositif décrit pour l'étude de la respiration de la levure de bière (Voir même notice, nous avons fait les expériences suivantes :

a) Le sang (25^{cc}) est agité à 40° pendant une heure dans un flacon en présence de l'air.

Dans ce cas, il n'y a ni oxygène consommé ni acide carbonique produit ou du moins en proportions extrêmement petites ; le sang ne respire presque pas.

b) Le même sang (25^{cc}) est agité à 40° pendant une heure dans les mêmes conditions mais en présence de 20 grammes de muscle. Au bout de ce temps le sang était noir, l'oxygène de l'air avait été en grande partie absorbé, un volume d'acide carbonique très notable avait été produit.

Il résulte donc de ces expériences que le sang est surtout un porteur d'oxygène, et que les globules sanguins au point

de vue respiratoire se comportent autrement que les éléments des tissus.

A l'époque où fut faite cette expérience, cette question était fort discutée ; elle est admise maintenant d'une façon absolument générale.

Dosage exact de l'acide carbonique dans le sang et dans les tissus. *Archives de Physiologie*, 1890, t. XXII, p. 533-539.

Dosage comparatif de l'acide carbonique contenu dans le sang, les muscles et les tissus. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 1891, 3e série, t. XXV, p. 286-288.

Ce nouveau procédé qui s'applique particulièrement aux tissus, aux muscles en particulier, consiste à faire dissoudre un certain poids de muscle dans une solution aqueuse de baryte, maintenue pendant quelques heures au bain-marie à 100°. La désagrégation des tissus est alors complète et il se produit un précipité de carbonate de baryte qui est décomposé ensuite dans le vide par un acide. L'acide carbonique dégagé est recueilli à l'aide de la pompe à mercure, puis dosé en volume.

Les expériences de contrôle faites sur le sang, traité par la méthode habituelle pour l'extraction de ses gaz ou par la méthode qui vient d'être exposée ont montré la parfaite concordance dans les chiffres obtenus par ces deux modes opératoires.

Sur l'absorption par le sang de l'hydrogène et du protoxyde d'azote introduits dans les poumons ; élimination de ces gaz. *Société de Biologie*, 1893, p. 616.

Quand on fait respirer à un chien un mélange d'hydrogène (80 volumes) et d'oxygène (20 volumes), on trouve cinq minutes après 1 centimètre cube d'hydrogène dans 100 centimètres cubes de sang, l'hydrogène a remplacé l'azote. Si on fait respirer alors de l'air pur, cet hydrogène disparaît à son tour pour faire de nouveau place à de l'azote.

En employant les mêmes proportions centésimales de protoxyde d'azote et d'oxygène et en astreignant un animal (chien)

à le respirer pendant quinze minutes, on voit apparaître les phénomènes asphyxiques, le sang d'autre part est noir et l'insensibilité cornéenne n'est pas atteinte ; l'analyse donne pour 100 centimètres cubes de sang après ces 15 minutes :

Acide carbonique	42cc,8
Oxygène	7 8
Azote	2 1
Protoxyde d'azote	26 4

Si alors on fait respirer l'air pur on trouve après

	10 minutes.	20 minutes.	30 minutes.
Acide carbonique	23cc,4	21cc,6	28cc,1
Oxygène	22 1	22 9	26 2
Azote	2 1	2 1	1 9
Protoxyde d'azote	2 1	0 4	»

Au bout de 30 minutes, comme on le voit, le protoxyde d'azote a complètement disparu du sang.

Sur la présence dans le sang normal d'une trace de gaz combustible. *Société de Biologie,* 1894, p. 459. *Archives de Physiologie,* 1894, t. XXVI, p. 620-621.

J'ai pu reconnaître, grâce à l'emploi du grisoumètre, la présence dans le sang normal du chien d'une trace de gaz combustible, qui tantôt après la combustion ne donne aucun louche dans l'eau de baryte, tantôt produit un léger louche et quelquefois même un léger précipité ; ce gaz est donc soit de l'hydrogène, soit de l'hydrogène carburé ou un autre gaz carboné.

La proportiou dans le sang est très faible, car pour 100 centimètres cubes de sang, je n'ai trouvé que deux dixièmes de centimètre cube d'hydrogène que l'on avait toujours jusqu'ici, dans l'analyse des gaz du sang, confondu avec l'azote.

Plus tard, M. de Saint-Martin et mon préparateur M. Maurice Nicloux ont pu caractériser dans le sang normal la présence d'une très petite quantité d'oxyde de carbone (1 centimètre cube par litre environ).

CHAPITRE II

RESPIRATION

Mesure du volume d'air contenu dans les poumons de l'homme. Recherches physiques sur la respiration de l'homme. *Thèse de doctorat en médecine*, 1863. *Comptes Rendus*, 1860, t. LI, p. 21. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1864, t. I, p. 523-535.

Perfectionnement du procédé de mesure du volume des poumons. *Société de Biologie*, 1887, p. 242.

On fait passer dans une cloche de 3 ou 4 litres (fig. 3), munie d'un robinet à trois voies et remplie d'eau sur la cuve, un demi-litre d'hydrogène pur; l'homme soumis à l'expérience ferme les fosses nasales en appuyant sur les narines, introduit dans la bouche un tube de verre fixé au robinet et applique les lèvres sur l'embout E; à la fin d'une expiration, on tourne le robinet; l'inspiration de l'hydrogène a lieu aussitôt, après la 5ᵉ expiration faite dans la cloche, on ferme le robinet; on obtient ainsi un mélange homogène des gaz hydrogène, oxygène, azote, acide carbonique, contenus dans les poumons et dans la cloche; on l'analyse dans un tube eudiométrique gradué avec un volume mesuré d'oxygène, afin d'obtenir par l'étincelle électrique la combustion complète de l'hydrogène.

Fig. 3. — Cloche renfermant le mélange gazeux.

Dans une expérience, le mélange gazeux recueilli après la 5[e] expiration contenait 14,6 d'hydrogène pour 100; soit x le volume des poumons : écrivons la proportion $\frac{100}{14,6} = \frac{x}{500}$; d'où $x = \frac{500 \times 100}{14,6} = 3^l,43$; après une expiration d'un demi-litre, le volume de l'air qui restait dans les poumons était égal à $2^l,93$.

L'eudiomètre est fixé dans un support spécial qui sert en même temps d'excitateur pour le passage de l'étincelle électrique.

Il est bon de placer l'eudiomètre dans un grand bocal de verre, qui retiendrait les fragments du tube s'il était brisé par l'explosion.

J'ai perfectionné ce procédé de mesure de la façon suivante :

Il est essentiel de s'assurer d'abord que l'hydrogène est pur : on le fait brûler et on écrase la flamme avec une soucoupe de porcelaine. S'il y a le moindre dépôt d'arsenic, il faut démonter l'appareil et changer le zinc et l'acide, car il serait très imprudent d'introduire dans les poumons les moindres traces d'hydrogène arsénié.

Je fais respirer un mélange de 250 centimètres cubes d'hydrogène et de 750 centimètres cubes d'air introduit dans un petit sac de caoutchouc muni d'un robinet à trois voies ou mieux dans une cloche pour éviter l'endosmose ; il se produit alors avec les gaz contenus dans les poumons un mélange homogène qui n'est pas détonant, et l'expérience ne présente plus aucun danger.

L'analyse de ce mélange se fait d'abord sur le mercure ; on détermine la proportion de l'acide carbonique par la potasse, puis la proportion de l'hydrogène dans l'eudiomètre à eau après addition de gaz de la pile.

Des expériences que j'ai faites et qui ont été publiées ont montré que, chez l'animal vivant, l'hydrogène introduit dans les poumons ne traverse pas ces organes et les parois thoraciques, et même l'hydrogène introduit dans la cavité pleurale chez l'animal vivant ne passe qu'en très petite quantité dans

l'air expiré ; il n'en est pas de même, comme je l'ai reconnu, quand on opère sur des poumons détachés après la mort.

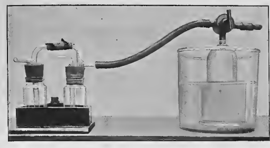


FIG. 4 — Appareil pour la mesure du volume des poumons montrant la cloche et les soupapes hydrauliques.

J'utilise maintenant un appareil légèrement modifié figuré ci-dessus (fig. 4); il permet, grâce à l'emploi de soupapes hydrauliques, de faire inspirer l'hydrogène exactement à la fin d'une expiration.

Renouvellement de l'air dans les poumons. *Thèse de Doctorat en médecine*, 1863. *Comptes Rendus*, 1862, t. LV, p. 278.

Le volume d'air pur qui pénètre dans les bronches par l'inspiration est en partie rejeté par l'expiration qui suit avec de l'air vicié contenant moins d'oxygène et plus d'acide carbonique ; en faisant inspirer un demi-litre d'hydrogène et en analysant un volume égal de gaz expiré, on trouve qu'il renferme 34 volumes d'hydrogène sur 100 ou en tout 170 centimètres cubes, tandis que 330 centimètres cubes d'hydrogène sont restés dans les poumons.

Remplaçons l'hydrogène par de l'air pur ; nous voyons qu'un tiers environ de l'air inspiré est rendu à l'atmosphère mélangé à deux tiers d'air vicié ; tandis que deux tiers d'air pur se dis-

trihuent dans les poumons. Le volume des poumons après l'expiration étant égal à $2^l,93$ chez l'homme qui a été soumis à mes recherches, 330 centimètres cuhes d'air pur se sont distrihués dans ce volume et l'unité de volume a reçu $\frac{330}{2930}$ $= 0^{cc},113$; j'ai donné à ce nombre le nom de *coefficient de ventilation*.

J'ai reconnu que la distribution de l'air dans les poumons se fait d'une manière uniforme: après deux mouvements égaux, l'un d'inspiration, l'autre d'expiration, dans tout l'arhre aérien chaque unité de volume reçoit un peu plus d'un dixième d'air pur.

Un gaz mélangé à l'air ou une vapeur pénètre dans les poumons dès la première inspiration et se trouve absorbé par le sang artériel; cela explique les accidents si suhits qui surviennent lorsque l'homme respire des gaz toxiques tels que l'hydrogène sulfuré.

J'ai démontré directement par l'expérience, la rapidité de cette ahsorption.

Endosmose des gaz à travers les poumons détachés. *Société de Biologie*, 1877, p. 429 et 1878, p. 108.

On introduit dans la trachée d'un animal après la mort un tuhe de verre rétréci, revêtu d'un tuhe de caoutchouc; la trachée est fortement liée sur le tube; on ouvre le thorax avec précaution et on détache les poumons en ayant soin de ne pas les hlesser; les poumons insufflés avec de l'air et immergés dans l'eau doivent rester gonflés sans qu'aucune hulle d'air ne s'échappe.

Si, après avoir insufflé les poumons fixés dans une cloche tubulée, on ferme la trachée à l'aide d'un robinet et si l'on enveloppe ces organes d'hydrogène ou d'acide carbonique, on les voit se gonfler de plus en plus; un tube ahducteur se rendant sous l'eau ajouté au rohinet laisse dégager du gaz qui est un mélange d'hydrogène ou d'acide carbonique avec l'air.

Ainsi les phénomènes d'endosmose ont lieu à travers les poumons entiers qui se conduisent comme une somme de petits réservoirs membraneux agissant chacun isolément, bien que les vésicules pulmonaires soient séparées de l'extérieur par une partie du parenchyme et par le feuillet viscéral de la plèvre. Si l'on introduit de l'hydrogène dans les poumons et de l'acide carbonique en dehors, les poumons se gonflent, ce qui démontre un courant prépondérant dirigé de l'acide carbonique vers l'hydrogène, car il y a en même temps un courant de moindre intensité de l'hydrogène vers l'acide carbonique.

Des poumons pleins d'air immergés dans de l'eau contenant de l'acide carbonique en dissolution se gonflent peu à peu, mais plus lentement, l'acide carbonique pénétrant pour se mélanger avec l'air ; il y a une analogie frappante entre ce phénomène et celui qui se passe dans la respiration normale, lorsque le sang veineux chargé d'acide carbonique circule dans les vaisseaux des poumons et se trouve seulement séparé par des membranes minces de l'air contenu dans les bronches et dans les vésicules pulmonaires.

Sur l'exactitude de la mesure du volume des poumons. *Société de Biologie,* 1878, p. 112.

En mesurant le volume des poumons d'un chien à trois reprises différentes, en lui faisant respirer 1 litre d'hydrogène mélangé avec 2 litres d'oxygène, une première fois pendant 3 minutes, une seconde fois pendant 6 minutes et une troisième fois pendant 10 minutes, on trouva les mêmes nombres, 682^{cc},687, 688 pour la capacité pulmonaire. J'ai démontré ainsi qu'il n'y a point d'endosmose des gaz introduits dans les poumons vers l'air extérieur, à travers le parenchyme pulmonaire et à travers les parois thoraciques ; l'hydrogène introduit dans l'arbre aérien y reste pendant la durée de l'expérience, et l'analyse eudiométrique permet de mesurer exactement le volume des poumons.

Les poumons chez l'animal vivant se laissent-ils traverser par les gaz ? *Société de Biologie,* 1878, p. 109.

Pour répoudre à cette question, j'ai pratiqué chez le chien une ou deux fistules thoraciques en ayant soin de ne pas blesser les poumons ; dans une première expérience, j'ai fait respirer l'animal dans une cloche contenant 1 litre d'hydrogène et 1 litre d'oxygène, tandis que la cavité thoracique droite communiquait avec une cloche contenant 1 litre d'oxygène ; au bout de 5 minutes, ce gaz avait reçu 2 pour 100 d'acide carbonique et 0^{cc},76 pour 100 ou 1/131 d'hydrogène.

J'ai fait aussi l'expérience inverse ; j'ai pratiqué deux fistules thoraciques l'une à droite, l'autre à gauche ; dans chaque ouverture j'ai fixé à l'aide d'un bouchon de caoutchouc un tube de verre recourbé communiquant avec une cloche contenant 1 litre d'hydrogène ; une muselière de caoutchouc attachée sur la tête de l'animal était unie avec une cloche à robinet contenant 2 litres d'oxygène ; au bout de 3 minutes, ce gaz ne renfermait que 1/400 d'hydrogène ; ainsi l'endosmose des gaz a lieu dans ces conditions artificielles chez l'animal vivant, mais le phénomène a beaucoup plus d'intensité lorsqu'on opère sur des poumons détachés.

Sur la composition de l'air qui se trouve dans les poumons en rapport avec le sang. *Société de Biologie,* 1871, p. 61.

Pour déterminer la composition de l'air qui dans les poumons reçoit constamment de l'acide carbonique et fournit constamment de l'oxygène au sang, j'ai introduit dans la cloche à robinet qui me sert à mesurer la capacité pulmonaire 500 centimètres cubes d'hydrogène pur.

J'inspire ce gaz, puis je fais une expiration prolongée que je recueille en deux fois : la première partie expirée dont le volume fut trouvé égal à 700 centimètres cubes est reçue dans la cloche, la seconde partie expirée est reçue dans un petit sac de caoutchouc entièrement vide d'air muni d'un robinet fixé

au robinet de la cloche ; ce gaz dont le volume était égal à 647 centimètres cubes contenait en centièmes :

Hydrogène	13,1
Acide carbonique	7,5
Oxygène	11,2
Azote	68,2

Si l'on substitue à l'hydrogène introduit par l'inspiration le même volume d'air pur dont il tient la place daus le mélange, 13^{cc},1 d'air pur renferment 2,7 d'oxygène et 10^{cc},4 d'azote, on a pour la composition de l'air qui dans les poumons est en contact médiat avec le sang :

Acide carbonique	7,5
Oxygène	13,9
Azote	78,6
	100 »

Recherches expérimentales sur la mesure du volume de sang qui traverse les poumons en un temps donné (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1886, p. 159.

Le procédé que nous avons suivi consiste à prendre simultanément dans le cœur droit avec une sonde et dans l'artère carotide d'un chien deux volumes égaux de sang qui sont injectés dans deux appareils de Gréhant pour l'extraction des gaz du sang. Toujours le volume d'acide carbonique fourni par le sang veineux a été plus grand que celui qui était contenu dans le sang artériel ; cette différence a permis de calculer les poids d'acide carbonique que 100 centimètres cubes de sang perdent en traversant les poumons.

Nous avons mesuré ensuite le poids d'acide carbonique que l'animal exhalait en une minute et, en divisant ce second poids par le premier, nous avons obtenu le nombre par lequel il faut multiplier 100 centimètres cubes pour avoir le volume de sang qui traverse les poumons en une minute.

Nous avons trouvé de 591 centimètres cubes à 2 164 centimètres cubes ; des nombres aussi différents s'expliquent facilement, les poids des animaux ayant varié entre 7 kilogrammes et 18 kilogrammes.

Influence des mélanges d'air et d'acide carbonique sur l'exhalation pulmonaire. *Société de Biologie*, 1879, p. 161.

Exhalation de l'acide carbonique dans l'inflammation de la muqueuse pulmonaire. *Société de Biologie*, 1880, p. 309.

Recherches comparatives sur l'exhalation de l'acide carbonique par les poumons et sur les variations de cette fonction. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1880, t. XVI, p. 329-346.

Recherches de physiologie et d'hygiène sur l'acide carbonique. *Annales des Sciences naturelles (Zoologie)*, 1887, t. II, p. 332-389.

Pour introduire dans les poumons un volume d'air constant et pour recueillir les gaz expirés, j'emploie deux sacs de caoutchouc A et B, (figure 5), munis chacun d'un robinet de

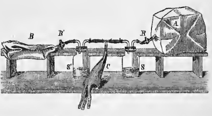


Fig. 5. — Dispositif expérimental pour l'étude de la respiration.

laiton R à trois voies; l'un des sacs, A, vidé d'abord avec une trompe aspirante et foulante de H. Sainte-Claire Deville, est rempli de 50 litres d'air insufflés par la même trompe et mesurés à l'aide d'un compteur à gaz; l'autre sac, B, est vide et destiné à recueillir les gaz expirés. Entre les deux sacs on a disposé deux soupapes à eau de Regnault ou de Muller, permettant l'une, S, l'inspiration, l'autre, S', l'expiration. Une muselière de caoutchouc appliquée exactement avec des liens sur la tête d'un chien est fixée sur un tube en T qui réunit les deux sou-

papes : l'animal inspire d'abord l'air extérieur et fait les expirations dans l'air, on tourne les deux robinets et l'inspiration se fait en A, l'expiration en B ; on compte le temps que 50 litres d'air mettent à circuler dans les poumons.

Le dosage de l'acide carbonique se fait par la pesée de tubes absorbants contenant de la potasse et de l'acide sulfurique représentés par la figure 6, à travers lesquels l'air expiré est coutraint de passer à l'aide d'une trompe de Golaz, d'un réservoir à vide partiel pourvu d'un régulateur d'aspiration, M.

Ce procédé de dosage est très exact et d'un emploi facile, il a donné un grand nombre de résultats intéressants :

Un chien du poids 9 kilogrammes a exhalé $2^{gr},747$ d'acide carbonique en 20 minutes.

Un lapin du poids de $3^{kgr},105$ a exhalé $2^{gr},423$ d'acide carbonique en un temps plus long, en $51^{m}30^{s}$. Si l'on cherche ce que les deux animaux ont exhalé par kilogramme et par minute, on trouve exactement le même nombre, $0^{gr},015$.

Chez un homme, 50 litres d'air ont enlevé aux poumons en six minutes $3^{gr},333$ d'acide carbonique.

Si l'on ajoute à l'air qui est inspiré un certain volume d'acide carbonique, l'exhalation de ce gaz diminue.

En faisant inspirer successivement à un chien 50 litres d'un mélange d'air et de 1 litre, 2 litres, 3 litres, 4 litres d'acide carbonique, j'ai reconnu que le poids d'acide carbonique exhalé qui était $2^{gr},747$ lorsque l'animal respirait de l'air pur, descendait à $1^{gr},72$, $1^{gr},445$, $0^{gr},353$, $-\ 0^{gr},765$; dans la dernière expérience, il y eut absorption d'acide carbonique par les poumons et il n'y eut pas d'exhalation.

J'ai démontré par le même procédé que dans l'air qui renferme 1/100 d'acide carbonique, l'exhalation de ce gaz est sensiblement diminuée.

Quand on produit une inflammation de la muqueuse pulmonaire en faisant respirer à un chien de l'air qui a traversé une solution d'acide sulfureux dans l'eau, les dosages montrent que le poids d'acide carbonique exhalé diminue notablement.

Variations produites dans l'exhalation pulmonaire de l'acide carbonique par l'état de repos ou de contraction d'un certain groupe de muscles. *Société de Biologie,* 1891, p. 14.

Je ne donnerai ici que quelques résultats de ces expériences.

Un lapin du poids de 3 kilogrammes a exhalé en 5 minutes $0^{gr},215$ d'acide carbonique ; après 20 minutes d'excitation des muscles d'un membre postérieur, on a produit encore les contractions musculaires pendant 5 minutes et on a recueilli en même temps l'air expiré qui renfermait $0^{gr},335$ d'acide carbonique ; ainsi l'augmentation dans le poids de ce gaz exhalé a été de $0^{gr},120$.

Chez le même lapin, dans une autre expérience, on a trouvé $0^{gr},180$ pour l'acide carbonique exhalé en 5 minutes. Les contractions musculaires ont été maintenues dans les deux membres postérieurs pendant 5 minutes, puis pendant 5 autres minutes on a recueilli l'air expiré qui renfermait $0^{gr},321$ d'acide carbonique, c'est-à-dire $0^{gr},141$ en plus.

Ces expériences donnent la démonstration directe chez l'animal vivant de l'augmentation très notable de l'acide carbonique exhalé lorsque les muscles sont en état de contraction.

Recherches de physiologie pathologique sur la respiration (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1882, t. XCIV, p. 1313. *Société de Biologie*, 1882, p. 316. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1882, t. XVIII, p. 469-498.

J'ai entrepris un grand nombre de recherches par mon procédé avec M. Quinquaud ; nous nous sommes servi d'un compteur à gaz dont nous avons vérifié l'exactitude avec un manchon de verre mesurant exactement 5 litres. Pour absorber l'acide carbonique nous avons pris des flacons de Durand contenant les uns de l'acide sulfurique et les autres une solution concentrée de potasse ; les flacons étaient réunis par des tubes en U renversés qui s'opposent à l'absorption (fig. 6).

Nous avons produit chez des animaux des lésions du parenchyme pulmonaire en injectant une solution de nitrate d'argent

dans les bronches par la trachée et une inflammation des plèvres en injectant de l'huile dans la cavité pleurale, et nous avons reconnu que les lésions obtenues expérimentalement diminuent la quantité d'acide carbonique exhalé.

Lorsque la lésion diminue ou passe à l'état chronique, la quantité de l'acide carbonique exhalé s'accroît. Au moment où la guérison est complète, cette quantité remonte au chiffre physiologique. On possède ainsi une mesure pour apprécier quel est l'état de la lésion viscérale.

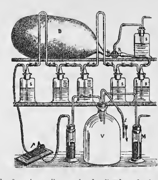


Fig. 6. — Appareil pour absorber l'acide carbonique.

Le mécanisme de cette diminution d'acide carbonique exhalé ne consiste pas en une sorte de barrage pulmonaire ; la lésion retentit probablement par l'intermédiaire du système nerveux sur les éléments de l'organisme pour produire des diminutions de la nutrition générale : les dosages des gaz du sang avant, pendant et après, plaident en faveur de cette pathogénie.

Les dosages faits chez des malades ont montré :

1° Que la pleurésie avec épanchement, fébrile ou non, détermine une diminution considérable de l'acide carbonique éliminé. Après la thoracentèse, la quantité de l'acide carbonique

rejeté s'accroît. La résolution s'annonce toujours par une augmentation de l'acide carbonique exhalé.

2° En mesurant l'élimination de l'acide carbonique, il est possible de savoir si la médication suivie est efficace ou sans effet.

3° Lorsque des accidents broncho-pulmonaires se produisent dans la pleurésie, le dosage de l'acide carbonique les traduit aussitôt par une décroissance dans l'exhalation.

4° L'emphysème pulmonaire amène également une diminution de l'acide carbonique rejeté.

5° Il en est de même dans les cas de pneumonie lobaire aiguë et de broncho-pneumonie; on est averti de la résolution de la maladie par l'augmentation de l'acide carbonique exhalé.

Ce procédé d'investigation permet donc de reconnaître avec une grande précision comment le poumon fonctionne, fait important en clinique au point de vue du diagnostic et du pronostic.

Recherches sur la respiration des poissons. *Société de Biologie*, 1869, pp. 152, 330. *Comptes rendus*, 1872, t. LXXIV, p. 621. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1870-1871, t. VII, p. 213-221.

Les expériences faites par de Humboldt et Provençal sur la respiration des poissons ont établi que ces animaux absorbent de l'oxygène et qu'ils exhalent de l'acide carbonique.

Chez des tanches privées de vessie natatoire, l'absorption d'oxygène et d'azote fut trouvée considérable, mais la production de l'acide carbonique fut trouvée nulle. En voulant contrôler ce résultat, je fus conduit à reprendre l'étude de la respiration des poissons et j'ai utilisé pour cet objet la pompe à mercure et l'appareil simple d'extraction des gaz du sang.

Un litre d'eau de Seine introduit dans mon appareil a fourni :

Oxygène.	6,06
Azote.	13,5
Acide carbonique.	34,9

c'est-à-dire quarante fois plus d'acide carbonique que de

Humboldt et Provençal n'en obtenaient par l'ébullition de l'eau dans un ballon.

Deux tanches ont été placées pendant une heure dans $10^{kgr},7$ d'eau de Seine, on a trouvé par litre d'eau :

Oxygène.	1 »
Azote.	14,5
Acide carbonique.	40,2

Ainsi les poissons ont absorbé 5 centimètres cubes d'oxygène et ils ont exhalé $5^{cc},3$ d'acide carbonique.

Une tanche privée de sa vessie natatoire placée dans l'eau de Seine absorba $7^{cc},4$ d'oxygène par litre d'eau, exhala 10 centimètres cubes d'acide carbonique. Les poissons peuvent enlever à l'eau la totalité de l'oxygène dissous, ils peuvent même enlever l'oxygène à l'hémoglobine du sang, ce que démontrent les expériences comparatives suivantes : Une carpe pesant 618 grammes fut placée dans $3^{l},6$ d'eau de Seine, elle mourut asphyxiée au bout de huit heures quarante-cinq minutes ; l'eau ne contenait plus d'oxygène.

Une autre carpe du poids de 688 grammes fut placée dans $3^{l},6$ d'un mélange de 1/5 de sang de bœuf défibriné et oxygéné et de 4/5 d'eau de Seine ; ce poisson vivait encore dix-neuf heures après et le mélange de sang et d'eau renfermait encore un peu d'oxygène. Les globules rouges du sang de poisson peuvent donc enlever l'oxygène à l'hémoglobine du sang d'un autre animal.

Le mode de respiration du fœtus dans le placenta maternel, chez les mammifères, paraît comparable au mode de respiration d'un poisson dont les branchies plongeraient dans un milieu sanguin.

De l'asphyxie et de la cause des mouvements respiratoires chez les poissons (En commun avec le Dr Picard). *Comptes Rendus,* 1873, t. LXXVI, p. 646.

De Humboldt et Provençal, dans leurs célèbres recherches sur la respiration des poissons, ont établi le fait suivant : si l'on place un poisson dans l'eau privée de gaz par l'ébullition,

le temps qui s'écoule jusqu'à l'arrêt complet des mouvements respiratoires pris comme signe de l'asphyxie est très variable.

Dans de l'eau privée complètement de gaz par la pompe à mercure, nous avons reconnu la variabilité indiquée par de Humboldt et Provençal. Il faut donc chercher dans l'animal lui-même la condition qui fait que certains poissons résistent plusieurs heures, tandis que d'autres meurent au bout de quelques minutes dans l'eau privée de gaz.

Nous avons reconnu que chez un poisson asphyxié une première fois, l'arrêt des mouvements respiratoires survient toujours dès les premières minutes qui suivent sa réintroduction dans l'eau privée de gaz, même si plusieurs heures s'écoulent entre les deux expériences.

Quand dans l'eau privée de gaz les mouvements respiratoires sont arrêtés, si l'on introduit une bulle d'oxygène ou 1 centimètre cube d'eau aérée, on voit les mouvements respiratoires se rétablir au bout d'une minute ou deux.

Si un poisson asphyxié est placé dans l'eau aérée le museau maintenu hors de l'eau, les mouvements respiratoires ne reprennent pas, mais ils reprennent aussitôt que l'extrémité du museau est mise en contact avec le liquide. Il faut donc, pour que ces mouvements s'établissent, qu'il y ait une excitation périphérique, produite par l'eau dans une région localisée auprès de l'orifice buccal.

Expérience de Priestley répétée avec des animaux et des végétaux aquatiques. *Comptes rendus*, 1886, t. CIII, p. 418.

Une des plus belles expériences de Priestley consiste à placer sous une cloche de petits mammifères (souris) jusqu'à ce que l'air devienne irrespirable. Si alors on introduit dans la cloche un pied de menthe couvert de feuilles, le tout exposé au soleil, la souris vit parfaitement, l'acide carbonique est décomposé par la chlorophylle et de l'oxygène est dégagé. J'ai réalisé une expérience analogue : on prend deux éprouvettes à pied que l'on remplit d'eau ordinaire et qui reçoivent chacune un poisson. On a choisi deux cyprins de même volume. Dans l'une

des éprouvettes, on introduit en même temps de 15 grammes à 20 grammes de feuilles de Potamogeton lucens bien vertes; les récipients remplis d'eau sont fermés par des membranes de caoutchouc: on les immerge horizontalement dans un aquarium de verre traversé par un courant d'eau froide et on les laisse au soleil. Au bout d'un temps variable qui dépend du volume des poissons et de la température, au bout de 5 heures dans mes expériences, l'un des poissons, celui qui est placé dans l'eau pure, perd l'équilibre, se dispose horizontalement ou tourne sur son axe; c'est un signe de l'asphyxie; si l'on fait alors l'extraction des gaz de l'eau, à l'aide de la pompe à mercure, on trouve que les gaz ne renferment plus trace d'oxygène. L'autre poisson, au contraire, continue à nager au milieu des feuilles; des bulles de gaz libre se sont dégagées dans l'éprouvette; on extrait les gaz de l'eau. Après avoir absorbé l'acide carbonique, qui est en quantité moindre que dans l'expérience précédente, on trouve dans le mélange d'azote et d'oxygène, jusqu'à 30 pour 100 d'oxygène: ce poisson est placé dans les meilleures conditions physiologiques.

Extraction et composition des gaz contenus dans les feuilles aériennes et dans les feuilles aquatiques (En commun avec M. J. Peyrou). *Comptes Rendus*, 1885, t. C, p. 1475 et 1885, t. CI, p. 485.

Nous avons appliqué à l'extraction des gaz des feuilles une pompe à mercure munie d'un récipient spécial, appareil qui diffère peu de celui que l'un de nous a depuis longtemps fait connaître et qui est employé dans les laboratoires de physiologie pour l'extraction des gaz du sang. Le récipient (fig. 7), formé d'un long tube enveloppé d'un manchon réfrigérant, est terminé par une allonge courbe de la contenance de un litre environ, dont l'ouverture peut être fermée par un bouchon de caoutchouc. On soulève le récipient au-dessus de l'horizon pour que l'allonge soit maintenue verticalement; on fait bouillir dans une capsule de porcelaine 3 litres d'eau distillée pendant une demi-heure et on conduit l'eau à travers un long serpentin de cuivre rouge enveloppé d'un courant d'eau froide, qui

plongeant dans l'eau bouillante par un bout est uni par l'autre bout avec le robinet de la pompe à mercure. On fait manœuvrer celle-ci pour aspirer l'eau privée de gaz et pour l'introduire après refroidissement dans la chambre barométrique, puis

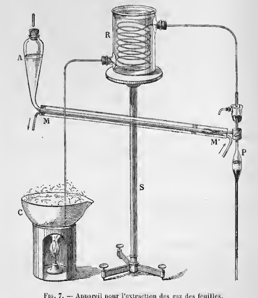


Fig. 7. — Appareil pour l'extraction des gaz des feuilles.

dans le récipient, jusqu'à ce que l'eau se déverse à la partie supérieure de l'allonge.

C'est dans ce milieu complètement privé de gaz que nous immergeons successivement de 50 grammes à 100 grammes de feuilles, aussitôt qu'elles ont été détachées de la plante ; nous fermons le récipient avec un bouchon de caoutchouc,

nous extrayons une partie de l'eau avec la pompe et nous retournons le récipient dans un bain d'eau à 50° pour recueillir d'abord les gaz dans une première cloche ; nous chauffons ensuite à 100° et nous obtenons encore des gaz qui sont reçus dans une deuxième cloche.

100 grammes de feuilles ont donné :

ÉTAT DU TEMPS	NOM DE LA PLANTE	GAZ OBTENU A 50°			PROPORTION D'OXYGÈNE dans le mélange d'azote et oxygène.	GAZ OBTENU A 100°		
		CO^2	O	Az		CO^2	O	Az
Temps couvert.	Saxifrage orné.	6,65	4,6	26,9	14,6 p. 100	10,1	Trace	0,2
Soleil.	*Id.*	8,5	2,7	27,2	8,9 —	10,9	0	0,3
Soleil.	Platane.	30,8	0,16	16,2	1 » —	6,6	0	Trace
Soleil.	Lilas.	20,1	0,25	23,2	1,1 —	68,4	Trace	0,3
Soleil et nuages.	Nymphæa alba.	29,8	4 »	60,1	6,2 —	60,4	0	0,3
Temps couvert.	Lemna (lentilles d'eau).	10,4	0,9	25,3	3,4 —	10 »	0	0,1
Soleil.	*Id.*	7,6	1,5	21,8	6,6 —	11,2	Trace	0,1
Temps couvert.	Potamogeton lucens.	7,1	0,26	7,1	3,6 —	14,1	—	Trace
Soleil.	*Id.*	9,1	0,8	10,8	6,9 —	19,2	—	0,1
Temps couvert.	Spirogyra quinina (algue).	4,1	0,35	6,8	4,9 —	29,4	0	0,5

En examinant ces résultats, ce qui frappe surtout l'attention, c'est que les gaz extraits des feuilles à 50° renferment toujours moins d'oxygène que l'air atmosphérique et contiennent une grande proportion d'acide carbonique, tandis qu'à 100° on extrait encore beaucoup d'acide carbonique, peu d'azote et une trace d'oxygène.

CHAPITRE III

SÉCRÉTIONS

L'accumulation de l'urée dans le sang est sensiblement la même après la néphrotomie ou après la ligature des uretères. *Société de Biologie*, 1869, p. 64, 132, 149.

Du rôle des reins dans la sécrétion de l'urée. *Société de Biologie*, 1870, p. 15.

Dosage de l'urée à l'aide du réactif de Millon et de la pompe à mercure. *Comptes Rendus*, 1872, t. LXXV, p. 143. *Journal de Physiologie et de Pathologie générale*, 1904, t. VI, p. 1-8.

Sur l'exactitude du procédé de dosage de l'urée par l'acide nitreux. *Société de Biologie*, 1904, p. 465.

Recherches physiologiques sur l'excrétion de l'urée par les reins. *Thèse de Doctorat ès sciences naturelles*, Masson, 1870. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1870-1871, t. VII, p. 318-335.

Prévost et Dumas ont montré que l'ablation des reins est suivie de l'accumulation de l'urée dans le sang ; des expériences faites par M. Zalesky montrèrent que chez le chien l'accumulation de l'urée dans le sang eut lieu après la ligature des uretères et non après la néphrotomie, et conduisirent ce physiologiste à l'idée que l'urée se forme dans les reins et non pas dans les tissus, idée qui est tout à fait en désaccord avec les résultats obtenus par Prévost et Dumas. Cette contradiction m'a décidé à entreprendre de nouvelles expériences sur ce sujet important.

J'ai cherché d'abord à établir un procédé exact de dosage

de l'urée dans le sang. Je fais d'abord un extrait alcoolique du sang, cet extrait est évaporé à sec dans le vide à 50°; le résidu de l'évaporation de la solution alcoolique est dissous dans l'eau et introduit dans le tube T représenté par la figure 8 ; on fait le vide à l'aide de la pompe à mercure pour extraire les gaz simplement dissous, puis on fait pénétrer dans le liquide qui contient l'urée en solution un réactif[1] obtenu en jetant dans l'acide nitrique un globule de mercure pesant $0^{gr},8$; le liquide vert produit par la dissolution du bioxyde d'azote dans l'acide nitrique décompose aussitôt l'urée en volumes égaux d'acide carbonique et d'azote, qui sont mélangés avec un excès de bioxyde d'azote. Les gaz sont recueillis sur le mercure, l'acide carbonique est absorbé par la potasse, le bioxyde d'azote par une solution de sulfate de protoxyde de fer, l'azote reste[2] ; l'égalité des volumes d'azote et d'acide carbonique caractérise l'urée et 1 centimètre cube de l'un ou de l'autre gaz ramené sec à 0° et à la pression de 760 millimètres représente $2^{mgr},683$ d'urée pure.

Ayant dissous 50 milligrammes d'urée pure, dans 20 centimètres cubes d'eau et l'ayant soumis au procédé de dosage j'ai retrouvé $49^{mgr},5$, ce qui prouve l'exactitude de la méthode, l'erreur relative n'ayant pas dépassé 1 pour 100.

En appliquant ce procédé, qui est très exact, je suis arrivé aux conclusions suivantes :

1° 25 grammes de sang suffisent pour un dosage exact;

2° Aussitôt après la néphrotomie, chez le chien à jeun, l'urée commence à s'accumuler dans le sang, et cette accumulation est déjà manifeste trois heures après l'opération ;

3° L'accroissement du poids de l'urée dans le sang et dans la lymphe, vingt-quatre heures après la néphrotomie, est égal au poids de cette substance que l'animal sain, à jeun, aurait excrété en vingt-quatre heures ;

1. Ce réactif perd son activité à 100°.

2. On aura soin avant de faire la lecture de ce dernier volume d'agiter le gaz avec de la potasse qui absorbera quelques centimètres cubes d'acide carbonique qui proviennent de la décomposition du carbonate de potasse (formé dans la première absorption) par le sulfate de fer (toujours acide).

4° L'accumulation de l'urée dans le sang, pendant les heures qui suivent l'ablation des reins, suit la même marche qu'après la ligature des uretères ;

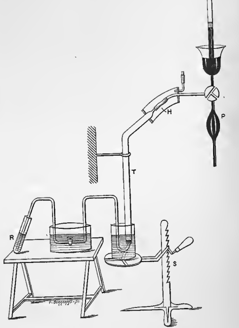


Fig. 8. — Appareil de Gréhant pour le dosage de l'urée.

5° Dans les conditions normales, le sang de la veine rénale contient toujours moins d'urée que celui de l'artère ;

6° Chez un animal qui a subi la ligature des uretères, vingt-

quatre heures après l'opération, le sang veineux rénal contient autant d'urée que le sang artériel ; ainsi le rein n'excrète plus d'urée et son tissu n'en forme pas ;

7° La ligature des uretères et la néphrotomie sont deux opérations identiques quant à leurs résultats, elles suppriment toutes deux la fonction éliminatrice des reins et n'apportent aucun obstacle à la formation de l'urée, qui a lieu dans les tissus en dehors des reins.

Sur l'activité physiologique des reins. *Société de Biologie,* 1879, p. 147. *Journal de Physiologie et de Pathologie générale,* 1904, t. IV, p. 1-8.

Pour étudier l'activité physiologique des reins ou le pouvoir éliminateur de ces organes, j'ai cherché le rapport qui existe entre la quantité d'urée contenue dans l'urine et celle qui est contenue dans un volume égal de sang artériel.

Chez un chien on a trouvé dans l'urine 125 fois plus d'urée que dans le même volume de sang artériel.

Ce résultat démontre que l'activité physiologique des reins est très grande, puisque ces organes séparent du sang un liquide contenant 125 fois plus d'urée que le sang n'en contient. Ce chiffre peut s'abaisser jusqu'à 10 dans les cas de mort par accidents urémiques chez l'homme.

Dans mes premières recherches faites en 1870, les chiffres obtenus pour le dosage de l'urée dans le sang sont un peu faibles (et par suite le rapport ci-dessus trop grand), cela tient à l'évaporation à 100° de l'extrait alcoolique du sang qui a pour conséquence une petite perte d'urée qui a été reconnue par le Dr Quinquaud.

Nouvelles recherches sur le lieu de formation de l'urée (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1884, t. XCVIII, p. 1312. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1884, t. XX, p. 317-329.

Distribution de l'urée dans le sang (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1884, p. 162.

A l'aide du procédé de dosage de l'urée décrit ci-dessus,

nous avons comparé le poids d'urée contenue dans le sang des veines sus-hépatiques aspiré à l'aide d'une longue sonde introduite par la veine jugulaire, la veine cave inférieure étant comprimée au-dessus des reins, avec le poids d'urée contenu dans le sang artériel ; nous avons trouvé que 100 grammes de sang des veines sus-hépatiques contenaient 66 milligrammes d'urée, tandis que 100 grammes de sang de l'artère carotide contenaient 56^{mgr},9 ; la différence est égale à 9^{mgr},1.

Il résulte des nombreuses expériences comparatives que nous avons faites que le sang des veines sus-hépatiques, des veines spléniques et celui de la veine porte contiennent toujours plus d'urée que le sang artériel pris dans l'artère carotide, d'où nous pouvons conclure que les viscères abdominaux sont le siège d'une formation continue d'urée.

Nous n'avons pas pu constater dans le sang qui revient de la tête et des membres une différence notable en le comparant au sang artériel. Quant au chyle mélangé de lymphe que nous avons recueilli dans le canal thoracique, après la section du bulbe, en pratiquant la respiration artificielle, nous l'avons toujours trouvé plus riche en urée que le sang artériel et que le sang veineux.

Une différence même très faible entre deux échantillons de sang pesant chacun 25 grammes, recueillis pendant une minute, ne s'élèverait-elle qu'à 1 milligramme, donnerait pour vingt-quatre heures une production d'urée égale à 1^{gr},440.

Dosage de l'urée dans le sang et dans les muscles (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1889, t. CVIII, p. 1092.

Recherche et dosage de l'urée dans les tissus et dans le sang des animaux vertébrés. *Comptes Rendus,* 1903, t. CXXXVII, p. 558.

Le dosage de l'urée a été fait par l'emploi de la méthode ci-dessus exposée (Voir page 34).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

	POIDS D'URÉE CONTENUS DANS 100 GRAMMES DE muscles	sang
Chien.	0gr,035	0gr,038
Lapin.	0 042	0 043
Cobaye.	0 045	0 045
Canard.	0 000	0 000
Grenouille.	0 044	
Carpe.	0 021	
Raie.	1 370	

Le chiffre très élevé que l'on observe dans le muscle de la raie montre que, à l'état normal, les reins sont insuffisants pour éliminer l'urée contenue dans le muscle et le sang.

L'excitation du foie par l'électricité augmente-t-elle la quantité d'urée contenue dans le sang (En commun avec M. Mislawsky). *Comptes Rendus*, 1887, t. CV, p. 349.

Dans un travail publié en 1879, M. Stolnikow affirme que l'électrisation de la peau dans la région du foie chez l'homme et que l'électrisation directe du foie chez les chiens augmentent considérablement l'excrétion de l'urée. Chez un chien le chiffre de l'urée excrétée en un jour est monté de 30 grammes à 50 grammes. Nous avons cherché si le sang des veines sus-hépatiques contient plus d'urée lorsque l'on excite le foie par l'électricité.

Nous avons trouvé que le sang des veines sus-hépatiques ne présente aucun changement en poids de l'urée après l'excitation électrique du foie ; les variations en quantité du chiffre de l'urée ont été observées seulement dans le sang artériel.

Nous avons recueilli à l'aide de fistules les volumes de bile et d'urine sécrétés avant et pendant l'excitation, ces volumes n'ont pas changé.

Par conséquent l'excitation du foie ne paraît avoir aucune influence sur la production de l'urée dans cet organe, et les variations dans le chiffre de l'urée excrétée en 24 heures qui

ont été indiquées par M. Stolnikow tiennent à une autre cause qu'il s'agit de rechercher.

Formation de l'urée par la décharge électrique de la torpille (En collaboration avec M. Jolyet), *Société de Biologie,* 1891, p. 687.

Nous avons cherché s'il serait possible de reconnaître la formation de l'urée dans l'organe électrique par une série nombreuse d'excitations suivies de décharge. Nous avons tout naturellement employé la méthode des expériences comparatives en ayant soin d'interrompre dans les organes électriques le cours du sang qui pourrait emporter les substances solubles et particulièrement l'urée produites dans les organes.

L'expérience est conduite de la façon suivante :

On coupe tous les nerfs électriques d'un côté et on lie aussitôt le cœur ou le bulbe artériel pour interrompre instantanément la circulation. La torpille peut vivre ainsi pendant assez longtemps et donner une série de décharges spontanées ou provoquées dans l'organe dont les nerfs sont restés intacts.

On provoque d'une façon réflexe et volontaire ces décharges en excitant l'animal soit mécaniquement soit par des courants faradiques. Il est évident que, s'il se forme de l'urée dans ces conditions elle doit s'accumuler dans l'organe électrique en fonction. C'est justement ce que l'expérience prouve.

Voici le tableau qui résume nos expériences:

N° 1	Urée contenue dans l'organe électrique paralysé. . . .	0gr,74
	id. qui a fonctionné.	1 38
N° 2	Urée contenue dans l'organe électrique paralysé. . . .	0gr,89
	id. qui a fonctionné.	2 66
N° 3	Urée contenue dans l'organe électrique paralysé. . . .	0gr,57
	id. qui a fonctionné.	1 15

Il résulte donc de ces recherches comparatives que les décharges électriques de la torpille augmentent du double au triple la production de l'urée qui a lieu dans les organes électriques.

Recherches sur les formiates introduits dans l'organisme (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1887, t. CIV, p. 437. *Archives de Physiologie*, 1887, t. XIX, p. 197-217.

Avant de chercher ce que devient un formiate injecté dans le tube digestif ou dans le sang d'un animal, nous avons établi un procédé de dosage aussi exact que possible ; après un grand nombre d'essais, nous nous sommes arrêtés aux trois opérations suivantes, qui nous ont donné d'excellents résultats :

1° Distillation dans le vide et au bain-marie de 50 centimètres cubes du liquide organique renfermant le formiate en présence d'acide sulfurique.

2° Neutralisation du liquide distillé et contenant l'acide formique ; évaporation réduisant le volume à 5 centimètres cubes ou à 10 centimètres cubes.

3° Décomposition du formiate par l'acide sulfurique à l'aide d'un appareil spécial constitué par un ballon de verre dont le col est fermé par un bouchon de caoutchouc à trois trous : l'un est traversé par un tube de sûreté, dont la boule est à moitié pleine d'acide sulfurique ; l'autre, par un tube abducteur qui plonge dans une cuve à eau ; le troisième, par une burette graduée et à robinet de verre contenant de l'acide sulfurique.

On introduit dans le ballon les 5 centimètres cubes ou 10 centimètres cubes du liquide qui est une solution de formiate ; on fait traverser l'appareil par un courant d'acide carbonique, afin de chasser l'air ; puis on place au-dessus du tube abducteur une éprouvette graduée pleine d'eau pour recueillir les gaz ; on fait écouler dans le ballon 10 centimètres cubes ou 20 centimètres cubes d'acide sulfurique, volume double de celui du liquide introduit ; on chauffe jusqu'à cessation du dégagement gazeux.

Le gaz recueilli est agité avec une solution de potasse qui absorbe l'acide carbonique ; on absorbe ensuite l'oxyde de carbone résultant de la décomposition du formiate, à l'aide d'une solution de protochlorure de cuivre dans l'acide chlorhydrique.

En opérant ainsi avec un gramme de formiate de soude dissous dans 50 centimètres cubes d'eau, nous avons trouvé

204 centimètres cubes d'oxyde de carbone et, d'autre part, 50 centimètres cubes d'urine normale, additionnés de 1 gramme de formiate de soude et soumis au même traitement, donnent le même volume de gaz qu'une solution faite dans l'eau pure.

Nous appuyant sur ces données, nous avons fait de nombreuses séries d'expériences sur le modèle des suivantes : nous avons injecté dans l'estomac d'un chien 5 grammes de formiate de soude dissous dans 100 grammes d'eau distillée ; puis l'animal a été placé pendant trois jours dans une cage à urines ; celles-ci recueillies et soumises aux trois opérations de notre procédé nous ont donné un volume d'oxyde de carbone égal à 688 centimètres cubes correspondant à 3gr,37 de formiate de soude.

De plus, nous avons injecté dans la veine jugulaire d'un chien 20 centimètres cubes d'eau distillée contenant en solution 4 grammes de formiate de soude ; les urines recueillies 48 heures après ont donné 453cc,7 d'oxyde de carbone, correspondant à 2gr,22 de formiate ; deux jours après, on a obtenu encore 40 centimètres cubes d'oxyde de carbone qui correspondent à 27 centigrammes de formiate, ce qui fait en tout 2gr,49 de formiate éliminé par les urines ; pendant plusieurs jours encore on a retrouvé des traces de formiate dans le liquide urinaire.

Nous concluons de ces analyses que le formiate de soude, injecté dans les voies digestives ou dans le sang, passe en majeure partie dans les urines sans éprouver la moindre décomposition.

En outre, d'autres expériences nous ont fait constater que ces mêmes urines ne contiennent pas de carbonates en excès.

A quel moment une substance dissoute injectée dans l'estomac ou sous la peau apparaît-elle dans le sang (En collaboration avec M. Quinquaud), *Société de Biologie*, 1888, p. 663.

Les expériences ont été faites avec l'iodure de sodium et le salicylate de soude que des réactions très sensibles permettent de reconnaître dans le sang.

Voici résumés en tableau les résultats que nous avons obtenus.

POIDS de SEL INJECTÉ	LIEU de L'INJECTION	MOMENT DE L'APPARITION dans le sang
2 grammes iodure de sodium dans 22 grammes d'eau.	Estomac.	N'apparaît pas même au bout d'une heure.
7 grammes iodure de sodium. . .	Estomac.	31 minutes.
3 grammes iodure de sodium dans 30 centimètres cubes d'eau. . .	Sous la peau en huit points différents.	8 minutes.
3 grammes salicylate de soude dans 50 centimètres cubes d'eau. . .	Estomac.	1 heure 9 minutes.
6 grammes salicylate de soude dans 66 centimètres cubes d'eau. . .	Estomac.	30 minutes.
6 grammes salicylate de soude dans 50 centimètres cubes d'eau. . .	Sous la peau.	31 minutes.

Démonstration du passage dans l'estomac contenant de l'eau de l'alcool éthylique injecté dans le sang. *Société de Biologie,* 1903, p. 376.

La technique est la suivante : j'injecte dans une veine saphène ou dans une veine jugulaire avec une certaine lenteur 5 centimètres cubes d'alcool absolu par kilogramme du poids de l'animal (chien) en prenant de l'alcool à 20 pour 100 renfermant du chlorure de sodium dans la proportion de 7 pour 1000.

Un quart d'heure après la fin de l'injection je fais pénétrer dans l'estomac 500 centimètres cubes d'eau distillée puis une demi-heure après on retire le liquide de l'estomac. Ce liquide renferme une certaine proportion d'alcool. En répétant la même opération à trois reprises, dosant l'alcool retiré à chaque fois et enfin en en faisant la somme, on trouve que la quantité retirée est de 6,8 pour 100 de celle introduite dans l'organisme, ce qui est loin d'être négligeable.

Cette expérience démontre d'une façon très nette l'élimination au niveau de la muqueuse stomacale d'une certaine proportion de l'alcool qui circule dans le sang à ce niveau et justifierait dans le cas d'une ivresse profonde les lavages réitérés de l'estomac avec de l'eau pure.

CHAPITRE IV

SYSTÈME NERVEUX
ÉNERGIE MUSCULAIRE

Influence de la section des nerfs pneumogastriques sur l'exhalation de l'acide carbonique. *Société de Biologie,* 1882, p. 221.

La section d'un nerf pneumogastrique n'a nullement modifié l'exhalation de l'acide carbonique par les poumons.

6 mois après, on fit chez le même animal la section du second nerf pneumogastrique, on obtint les mêmes nombres, $2^{gr},72$, $2^{gr},74$, $2^{gr},62$ pour les quantités d'acide carbonique exhalé dans 50 litres d'air, nombres presque identiques à ceux qui ont été obtenus dans la première série d'expériences, seulement la circulation de l'air dans les poumons a duré 14 minutes au lieu de 8 minutes; il y eut un ralentissement considérable des mouvements respiratoires.

Influence de la section de la moelle cervicale sur l'exhalation pulmonaire de l'acide carbonique (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1882, p. 359.

Lorsqu'on sectionne la moelle épinière au-dessous du centre moteur des mouvements respiratoires, il se produit, comme l'a montré l'illustre physiologiste Claude Bernard, un abaissement très marqué de la température, de sorte que les animaux à sang chaud, après cette section, deviennent semblables à des animaux à sang froid.

Avant l'expérience, la température du chien était 40°. Dans

50 litres d'air expiré en 11m30s, on a trouvé 2gr,47 d'acide carbonique; on fit la section de la moelle à la partie inférieure du cou; l'animal étant paralysé complètement du train postérieur, la température, une heure après la section, était descendue à 38°,5. Une seconde prise d'air expiré a donné 1gr,73 d'acide carbonique exhalé en 12m45s dans 50 litres d'air, ou 0gr,74 d'acide carbonique en moins. Le lendemain, 21 heures après la section, la température rectale était 25°; 50 litres d'air ont circulé à travers les poumons en 31 minutes et ils ne renfermaient que 0gr,82 d'acide carbonique. Ainsi la production de ce gaz était bien diminuée; en 31 minutes, l'animal, à l'état sain, aurait exhalé 6gr,7 d'acide carbonique ou 7 fois plus que le nombre trouvé, ce qui rend compte de l'abaissement de température si considérable qui a été observé.

Mode nouveau d'administration du chloroforme dans les expériences physiologiques. *Société de Biologie,* 1874, p. 269.

Je fais respirer l'animal dans un sac de caoutchouc contenant un mélange d'air et de vapeur de chloroforme. La quantité de chloroforme doit être proportionnée au poids de l'animal: pour un chien de 10 kilogrammes, j'ai introduit dans un sac de caoutchouc, renfermant 100 litres d'air, 20 grammes de chloroforme; l'animal présente d'abord un peu d'excitation, puis au bout de 5 à 10 minutes l'anesthésie est complète; on peut la maintenir pendant une heure en continuant à faire respirer le chien dans le même sac.

Si, pour un chien de même poids, on n'introduit que 10 grammes de chloroforme, l'anesthésie ne se produit pas, on n'obtient que la période d'excitation.

Si, au contraire, on emploie des doses plus considérables, l'animal peut succomber.

Il existe donc pour un animal donné une proportion qu'il faut atteindre, mais qu'il ne faut pas dépasser. Cette proportion étant employée, la quantité de chloroforme qui passe dans le sang se trouve être à la dose convenable pour produire l'anesthésie; et si cette anesthésie se maintient, c'est qu'il

s'établit un équilibre entre la quantité de chloroforme contenue dans le sang et celle qui est contenue dans le sac, l'animal absorbant autant de chloroforme qu'il en exhale.

Les sacs de caoutchouc subissant au contact du chloroforme des altérations passagères, j'ai fait construire une grande cuve en zinc de la dimension de 600 litres, fermée par un couvercle à rebord plongeant dans une rainure pleine d'eau ; dans ce vaste récipient on compose à l'avance le mélange de chloroforme et d'air.

Anesthésie chloroformique (En commun avec M. QUINQUAUD). *Société de Biologie*, 1883, p. 440.

Pour composer des mélanges à 10 grammes de chloroforme pour 100 litres d'air, mélanges qui d'après les recherches de P. Bert permettent d'obtenir une anesthésie prolongée, nous nous sommes servi d'une grande cuve de bois doublée de zinc supportée par des tréteaux en dehors du laboratoire ; elle présente sur deux faces opposées deux tubes munis de gros robinets que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté. Un couvercle plan portant en son milieu une tubulure est doublé d'une feuille de zinc, qui a été recourbée sur tout le contour à angle droit et qui peut s'engager dans une rainure profonde de 10 centimètres soudée à la périphérie de la grande cuve; cette rainure est remplie d'eau.

On verse par la tubulure du couvercle 42 centimètres cubes de chloroforme dans la cuve qui contient 620 litres d'air ; la densité du chloroforme étant 1,5, cela fait 62 grammes de chloroforme qui se volatilisent dans l'air de la cuve ; on attend un certain temps que la vaporisation soit complète, on fixe une muselière sur la tête d'un chien et, à l'aide de deux soupapes à eau offrant une faible résistance, on fait inspirer dans la cuve et expirer au dehors. Pour remplacer l'air inspiré et pour maintenir une composition constante du mélange, on unit le robinet opposé de la cuve à un flacon barboteur dans lequel on a versé 10 grammes de chloroforme (6^{cc},6) et on dispose un compteur à gaz que traverse l'air aspiré. On renouvelle le

même poids de chloroforme chaque fois que 100 litres d'air ont traversé le compteur. Nous avons obtenu ainsi une anesthésie très prolongée.

Anesthésie des rongeurs par l'acide carbonique. *Société de Biologie,* 1887, p. 52 et 153.

On sait que le Dr Ozanam a indiqué un moyen d'anesthésier les lapins en leur faisant respirer un mélange non titré d'acide carbonique et d'air, mélange dans lequel l'acide carbonique diminue la proportion relative de l'oxygène.

Paul Bert s'est servi de mélanges titrés d'acide carbonique et d'oxygène ; un mélange à 40 pour 100 d'acide carbonique a produit chez le chien l'anesthésie au bout de cinq minutes.

Chez le lapin qui meurt souvent quand on emploie le chloroforme, je me sers d'un mélange à 45 pour 100 d'acide carbonique, contenant autant d'oxygène que l'air atmosphérique et qui est formé de 105 litres d'acide carbonique, de 100 litres d'air et de 28l,3 d'oxygène ; l'insensibilité complète de la cornée est obtenue en deux minutes chez l'animal qui respire dans un grand sac de caoutchouc, à l'aide d'une muselière de caoutchouc et de soupapes à eau.

L'anesthésie peut être maintenue une heure ou deux heures, mais j'ai observé souvent que l'animal, dont la température s'abaisse pendant l'anesthésie, meurt subitement quand on lui fait respirer de l'air pur.

J'ai démontré que, pendant l'anesthésie profonde produite par l'acide carbonique, l'oxygène est encore absorbé en petite quantité par les poumons, tandis que l'acide carbonique n'est point ou presque point exhalé ; il s'accumule dans les tissus, comme P. Bert l'a démontré directement.

Snr les accidents mortels qui peuvent subvenir à la suite de l'anesthésie par l'acide carbonique. *Société de Biologie,* 1887, p. 542.

Lorsqu'on soumet des lapins à l'anesthésie par un mélange à 45 pour 100 d'acide carbonique, il arrive fréquemment que l'animal qui a été anesthésié pendant une heure ou plus

meurt subitement par arrêt des mouvements respiratoires quelques minutes après qu'il a été replacé dans l'air pur. Ce phénomène, dont je n'ai pas encore trouvé l'explication, n'est pas constant, il y a sous ce rapport chez les animaux de grandes différences individuelles ; ainsi chez un lapin l'anesthésie a été maintenue pendant trois heures et l'animal a survécu, tandis qu'un autre lapin anesthésié pendant un quart d'heure est mort quelques minutes après avoir été replacé à l'air. Il résulte de ces faits qu'il faut bien se garder d'employer chez l'homme l'acide carbonique comme anesthésique général.

Mon élève M. Banes a bien étudié les conditions dans lesquelles apparaissent les convulsions après les inhalations prolongées d'acide carbonique et a fait de cette étude l'objet de sa thèse de Doctorat en médecine.

Voix artificielle chez les animaux. *Société de Biologie,* 1874, p. 143.

Chez un chien, on découvre la trachée à la partie inférieure du cou ; deux tubes sont fixés dans ce conduit, l'un du côté des poumons, l'autre du côté du larynx ; si l'on souffle de l'air vers le larynx, soit à l'aide de la bouche, soit à l'aide d'un réservoir à air comprimé, on n'obtient pas de son ; mais si l'on excite par la pince électrique en même temps les bouts périphériques des nerfs récurrents sectionnés et rapprochés à l'aide de fils, le passage de l'air met aussitôt les cordes vocales en vibration ; il est utile d'exciter les nerfs avec des courants induits faibles ; si l'on emploie des courants énergiques, on détermine l'occlusion complète de la glotte, qu'il est alors difficile de faire vibrer.

Myographe dynamométrique. *Société de Biologie,* 1890, p. 563.

Sur un nouvel appareil destiné à mesurer la puissance musculaire. *Comptes rendus,* 1891, t. CXIII, p. 211.

Cet appareil que je désigne sous le nom de myographe dynamométrique permet d'inscrire et d'évaluer l'effort exercé par un muscle isolé ou par un groupe de muscles. J'ai modifié

simplement le myographe à ressort de M. le Pr Marey qui rend de si grands services aux physiologistes.

Dans des mesures faites chez l'homme, j'ai trouvé pour la puissance musculaire du biceps et du brachial antérieur fléchisseurs de l'avant-bras sur le bras, des nombres compris entre 15 et 45 kilogrammes.

Mesure de la puissance musculaire chez les animaux soumis à un certain nombre d'intoxications (En collaboration avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1891, t. CXIII, p. 213, et *Société de Biologie*, 1891, pp. 242, 415 et 417.

Grâce à mon myographe dyuamométrique qui permet d'opérer avec la plus grande facilité chez les animaux, nous avons recherché avec M. Quinquaud quelle serait l'influeuce d'un certain nombre d'intoxications sur la puissance musculaire.

Toutes les expériences ont été faites en isolant le tendon d'Achille (expériences sur le chien) qui était uni par une corde au ressort du myographe, deux aiguilles à acupuncture en or étaient enfoncées : l'une dansle muscle gastrocnémien, l'autre au niveau du tendon ; elles étaient unies avec un godet à mercure interrupteur, une pile de plusieurs éléments et un milliampèremètre de Gaiffe ; on s'arrangeait de manière à obtenir un courant de même intensité pour exciter le muscle au moment de la fermeture du circuit.

Nous avons étudié l'action de l'oxygène comprimé, de l'alcool, du curare ; tous ces poisons ont affaibli la puissance musculaire et particulièrement le curare qui fait passer la puissance initiale de 900 grammes environ au chiffre de 120 grammes. C'est là comme on le voit un affaiblissement considérable.

Influence de l'exercice musculaire sur l'élimination de l'alcool éthylique introduit dans le sang. *Société de Biologie*, 1903, p. 802.

L'expérience consistait à faire ingérer à un chien une proportion d'alcool à 10 pour 100 correspondant à $2^{cc},5$ d'alcool absolu par kilogramme, dose qui ne produit pas l'ivresse et à

faire travailler l'animal dans une roue motrice de 3 mètres de diamètre.

L'alcool est dosé dans le sang après une période de repos puis de travail, puis de repos ; pendant le travail on constate une disparition de l'alcool du sang nettement plus accentuée que pendant le repos pour une période de temps égal. Toutefois, si on doit conclure que l'exercice musculaire favorise l'élimination de l'alcool, il faut reconnaître qu'elle est bien moindre qu'on pourrait le supposer *a priori*.

Mesure du plus grand effort que puisse produire un muscle isolé à l'aide d'un myodynamomètre à sonnerie. *Société de Biologie,* 1897, p. 296.

L'appareil qui sert à cette mesure est analogue à celui imaginé par le Pr Rosenthal d'Erlangen, il se compose (fig. 9) : d'un

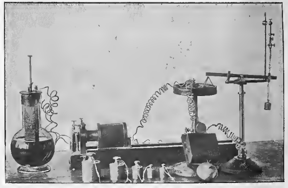


Fig. 9. — Myographe dynamométrique à sonnerie.

levier solide monté sur pointes, analogue au levier de Helmholtz, d'un chevalet métallique fixé sur un plateau mobile à crémaillère. A l'extrémité droite du levier rappelant le fléau d'une balance se trouve un curseur portant deux crochets, l'un supé-

rieur pour attacher avec un fil métallique le tendon d'un muscle gastrocnémien de grenouille, l'autre inférieur recevant un poids variable; à l'extrémité gauche du levier se fixe un curseur à contre-poids que l'on fait glisser et qui sert à obtenir l'équilibre horizontal.

Une pince maintenue par un support solide sert à fixer le fémur entouré d'un fil métallique. La préparation du muscle ainsi faite est traversée à volonté par les courants induits d'un chariot de Du Bois Reymond. On dispose le chevalet métallique qui communique avec l'un des pôles d'une pile tandis que le levier communique avec l'autre pôle et avec une sonnerie électrique, de telle sorte que l'arête du chevalet soit à la plus petite distance possible du levier, 1/10 de millimètre environ après avoir chargé le muscle d'un poids de 100 grammes.

La tétanisation du muscle fait immédiatement vibrer la sonnerie par suite du contact du levier avec le chevalet.

La figure ci-contre donne d'ailleurs facilement la vue d'ensemble de l'appareil. On reconnaît alors qu'avec un muscle gastrocnémien pesant de 0gr,27 à 0gr,35 ou peut soulever un poids de 500, 600, 700 et même 1 000 grammes.

CHAPITRE V

TOXICOLOGIE

Dose toxique de l'alcool dans le sang. *Société de Biologie,* 1881, p. 403.
Toxicité de l'alcool éthylique. *Société de Biologie,* 1903, p. 225.

Chez un chien du poids de 10kgr,5, j'ai injecté dans l'estomac de demi-heure en demi-heure 93gr,2 d'alcool à 21° ; quatre injections furent faites dans la matinée ; dans l'après-midi, 3 heures après, l'animal était ivre ; on fit encore 4 injections de demi-heure en demi-heure : dix minutes après la quatrième, la respiration s'arrêta.

100 centimètres cubes de sang pris dans la veine cave inférieure furent soumis à la distillation, ils contenaient 1 centimètre cube d'alcool absolu.

Chez un autre animal de la même espèce, la dose toxique fut trouvée égale à 1/110 ; on voit donc que la dose toxique de l'alcool est environ le double de la dose qui produit l'ivresse, et il y a une analogie frappante entre ces résultats et ceux qui ont été obtenus par P. Bert dans le dosage des anesthésiques : « La dose de la vapeur de chloroforme ou d'éther dans l'air inspiré par les animaux devient toxique quand elle est double de celle qui produit l'anesthésie. »

J'ai repris et complété ces expériences.

Les expériences ont été faites sur le lapin et sur le chien.

L'alcool était introduit dans l'estomac sous forme d'alcool dilué, on a trouvé :

Chez le lapin après une ingestion d'alcool correspondant à 15 centimètres cubes d'alcool absolu par kilogramme (intro-

duit sous forme d'alcool à 20 pour 100), on a trouvé au moment de la mort qui est survenue 6h30s après l'ingestion, la proportion de 1cc,4 d'alcool absolu dans 100 centimètres cubes de sang, ou 1/71.

Chez le chien, après une ingestion d'alcool correspondant à 15 centimètres cubes d'alcool absolu introduit sous forme d'alcool à 10 pour 100 et effectuée en trois fois à 4 heures d'intervalle, l'animal est mort pendant la nuit qui a suivi l'injection faite à 9 heures du matin, et le sang renfermait une proportion de 1cc,3 d'alcool absolu dans 100 centimètres cubes de sang, ou 1/76.

La technique est celle que je décris plus bas, v. p. 54, elle permet avec une très petite quantité de sang de déterminer la proportion d'alcool et son application serait utile à la médecine légale pour décider facilement si un homme a succombé à un empoisonnement aigu produit par l'alcool.

Quantité d'alcool éthylique contenue dans le sang artériel pendant l'ivresse alcoolique. *Société de Biologie*, 1881, p. 314.

Injection d'alcool éthylique dans le sang veineux. *Comptes Rendus*, 1895, t. CXX, p. 1154.

Dosage de l'alcool éthylique dans le sang après l'injection directe dans les veines ou après l'introduction des vapeurs alcooliques dans les poumons. *Comptes Rendus*, 1896, t. CXXIII, p. 192. *Société de Biologie*, 1896, p. 839.

Dans mon premier travail, l'alcool étant introduit dans les veines, j'avais recherché l'alcool contenu dans le torrent circulatoire par la distillation du sang et la détermination de l'alcool par la densité du liquide distillé obtenue par la méthode du flacon.

J'avais trouvé qu'en injectant dans la veine jugulaire une proportion d'alcool à 25 pour 100 correspondant à 10 centimètres cubes d'alcool absolu par kilogramme, la proportion d'alcool est de 1 pour 100 dans le sang[1].

Ces recherches étaient longues et laborieuses, aussi avant

1. Cette donnée a été confirmée bien des fois depuis.

d'entreprendre de nouvelles recherches, j'ai pensé qu'il était nécessaire d'avoir à sa disposition un procédé de dosage plus exact et surtout plus sensible que le précédent. Aussi j'ai demandé à mon préparateur, le Dr Nicloux, d'établir un procédé de dosage de petites quantités d'alcool. Il a été assez heureux pour y parvenir en employant une réaction utilisée qualitativement depuis fort longtemps, à savoir la réduction du bichromate de potasse par l'alcool en présence d'acide sulfurique.

Je n'entrerai pas dans le détail du dosage et je donnerai simplement le principe de la méthode. Si l'on ajoute à chaud du bichromate de potasse successivement et en très petite quantité, à une solution alcoolique diluée, en présence de l'acide sulfurique, la réduction du bichromate est, à un moment déterminé, accompagnée d'un changement de teinte ; en effet, dès que l'alcool est complètement oxydé, le bichromate n'entre plus en réaction et ce point atteint, un très petit excès de bichromate, grâce à la puissance de sa coloration, communique à la teinte vert bleu franche du sulfate de sesquioxyde de chrome étendu une teinte jaunâtre, *véritable virage* qui, indiquant la limite de la réaction, est immédiatement utilisable pour le dosage. 5 centimètres cubes d'une solution alcoolique à 1 pour 100 suffisent pour ce dosage.

En possession de cette méthode, le dosage dans le sang devenait très simple. Il suffit de distiller le sang (10 ou 20 centimètres cubes environ) dans le vide au moyen de la pompe à mercure en utilisant le dispositif que j'ai indiqué et dont je donne ci-contre la représentation (fig. 10). Le liquide clair obtenu par distillation renferme tout l'alcool, lequel est dosé par la méthode de Nicloux.

J'ai démontré ainsi qu'en injectant l'alcool dans le sang, on constate immédiatement qu'il se fixe dans les tissus avec une très grande rapidité, car quelques minutes après l'injection, la proportion dans le sang est déjà très petite vis-à-vis de la quantité introduite.

D'autre part, et c'est là un fait qui me paraît fort important, il est possible de voir la fixation de l'alcool en vapeur par le sang en faisant respirer à un animal (chien) des vapeurs alcoo-

liques. La proportion fixée est loin d'être négligeable et peut atteindre le chiffre de 0^{cc},5 d'alcool absolu pour 100 centimètres cubes de sang qui correspond au chiffre trouvé dans le sang au

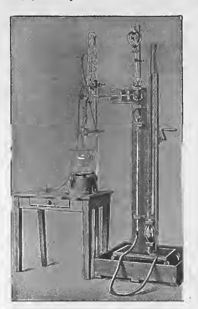


Fig. 10. — Appareil à distillation dans le vide : ballon, réfrigérant d'Allihn, pompe à mercure. Le liquide distillé se réunit dans le réservoir fixe de la pompe et recueilli ensuite par une simple manœuvre de la pompe dans un récipient ad hoc.

moment de l'ivresse profonde obtenue par ingestion d'alcool (voir plus bas p. 56). Ce dernier résultat confirme un travail antérieur fait en collaboration avec Quinquaud (Gréhant et Quinquaud, Sur l'absorption des vapeurs d'alcool absolu par les poumons. *Société de Biologie*, 1883, p. 426).

Recherches sur l'alcoolisme aigu, dosage de l'alcool dans le sang et dans les tissus. *Comptes Rendus,* 1899, t. CXXIX, p. 746.

Recherches expérimentales sur l'intoxication par l'alcool éthylique. *Société de Biologie,* 1899, p. 808.

Construction de courbes qui indiquent les proportions d'alcool que renferme le sang après l'injection dans l'estomac de volumes déterminés d'alcool éthylique. *Société de Biologie,* 1899, p. 946.

Nouvelles recherches sur l'alcoolisme aigu. *Société de Biologie,* 1900, p. 894. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1900, t. XXXVI, p. 143-159.

Dosage de l'alcool dans le sang après l'ingestion dans l'estomac d'un volume mesuré de ce liquide, courbe complète. *Société de Biologie,* 1903, p. 1264.

Si on introduit de l'alcool à 10 pour 100 dans l'estomac du chien on constate, et cela est surtout vrai pour les doses correspondant à 3 centimètres cubes et plus d'alcool absolu par kilogramme, une heure environ après l'ingestion, l'existence d'une certaine proportion d'alcool dans le sang, proportion qui reste constante plusieurs heures.

La figure ci-contre (fig. 11) est la représentation de toute une série d'expériences comparatives, faites chez le chien les quantités d'alcool absolu ingérées par kilogramme sont indiquées sur les courbes mêmes.

Il était intéressant de rechercher ce que devient l'alcool dans les heures suivantes et de voir au bout de quel nombre d'heures l'alcool a complètement disparu du sang.

Voici les résultats obtenus en suivant la technique exposée page 54.

1cc d'alcool absolu par kilogramme.

Temps.	1h	2h	4h30	5h30	6h30	7h15
Alcool absolu dans 100cc de sang. .	0cc,09	0cc,09	0cc,057	0cc,027	0cc,007	0

2cc d'alcool absolu par kilogramme.

Temps.	1h	2h	6h	7h	8h	9h
Alcool absolu dans 100cc de sang. .	0cc,24	0cc,21	0cc,12	0cc,07	0cc,04	0cc,02

5cc d'alcool absolu par kilogramme.

Temps.	1h	5h	14h30	15h	16h	17h	18h	19h	20h
Alcool absolu dans 100cc de sang. .	0cc,5	0cc,5	0cc,07	0cc,05	0cc,03	0cc,023	0cc,018	0cc,01	0

L'élimination pour 5 centimètres cubes d'alcool absolu par kilogramme a demandé comme on le voit 20 heures environ pour être complète.

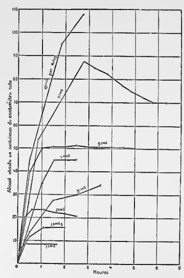


Fig. 11. — Quantité d'alcool dans le sang, en fonction de la quantité ingérée et du temps.

J'ai repris la dernière expérience (5 centimètres cubes d'alcool absolu par kilogramme) et déterminé cette fois tous les points intermédiaires qui manquent comme on le voit entre la 5ᵉ et la 14ᵉ heure. J'ai pu construire ainsi la courbe complète (fig. 12) représentant la quantité d'alcool contenue dans le sang en fonction du temps en en faisant un dosage heure par heure pendant les 23 heures qui suivent l'ingestion.

Comme nous l'avons signalé plus haut, la proportion d'alcool

reste constante pendant plusieurs heures, la courbe présente un plateau caractéristique (plateau de Gréhant), puis elle

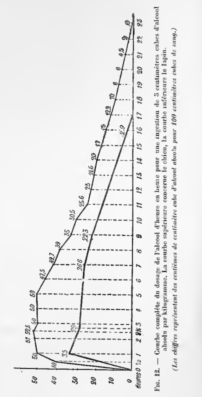


Fig. 12. — Courbe complète du dosage de l'alcool d'heure en heure pour une ingestion de 5 centimètres cubes d'alcool absolu par kilogramme. La courbe supérieure concerne le chien, la courbe inférieure le lapin.

(Les chiffres représentent des centièmes de centimètre cube d'alcool absolu pour 100 centimètres cubes de sang.)

s'abaisse alors régulièrement comme le montre d'ailleurs, sans qu'il soit nécessaire d'insister davantage, la courbe ci-dessus.

Voici maintenant les résultats pour le cerveau, les muscles, le foie, les reins, la quantité d'alcool ingéré étant de 5 centimètres cubes d'alcool absolu par kilogramme et la quantité d'alcool étant de 0^{cc},57 pour 100 centimètres cubes de sang :

TISSUS	ALCOOL POUR 100^{gr} DU TISSU CONSIDÉRÉ
—	—
Cerveau.	0,44
Muscles.	0,33
Foie.	0,325
Reins.	0,39

Influence de la morphine sur l'exhalation de l'acide carbonique. *Société de Biologie,* 1882, p. 221.

Pendant le sommeil profond produit par une injection de 2 centigrammes de chlorhydrate de morphine par kilogramme du poids d'un chien, l'exhalation de l'acide carbonique fut considérablement diminuée. L'animal avant l'injection du poison exhalait 2^{gr},64 d'acide carbonique en 7^{m}35^{s} ; pendant le sommeil, une demi-heure après l'injection, il exhala 2^{gr},245 seulement en 18^{m}15^{s} ; à l'état de veille il aurait exhalé pendant ce temps 6^{gr},356 d'acide carbonique, presque le triple du poids trouvé. Si l'on admet, ce qui paraît rationnel, que la quantité d'acide carbonique qui se forme dans tout l'organisme en un certain temps est à peu près égale à celle qui est exhalée par les poumons, dans le même temps, l'activité de la production de l'acide carbonique dans les tissus pendant le sommeil provoqué par la forte dose de morphine que j'ai employée serait donc trois fois moindre que chez l'animal à l'état de veille ; cette conclusion ne peut être exacte qu'à une condition : c'est que l'acide carbonique ne s'accumule pas dans le sang ou dans les tissus pendant le sommeil artificiel.

Expériences qui démontrent combien il est dangereux de respirer des vapeurs nitreuses (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1884, p. 369.

On a employé les vapeurs nitreuses pour détruire en temps

d'épidémie les germes morbides qui peuvent être contenus dans les bagages des voyageurs ; il paraît difficile que, dans l'usage de ces vapeurs d'acide hypoazotique, les voyageurs et les employés ne soient point exposés à en respirer.

Rabuteau a signalé le fait d'un ouvrier qui, ayant respiré des vapeurs nitreuses qui s'étaient échappées d'une chambre de plomb, avait quitté son travail, avait éprouvé de l'oppression et était mort au bout de quelques heures. En faisant arriver dans un long tube de verre attaché à une muselière fixée sur la tête du chien un courant lent de bioxyde d'azote, on vit l'animal mourir au bout de quelques minutes ; un autre animal mourut au bout d'une demi-heure, et on avait consommé de un à deux litres de bioxyde d'azote, qui s'était mélangé avec l'air inspiré, mais qui avait été rejeté en partie au dehors par les mouvements d'expiration.

Sur la rapidité de l'absorption de l'oxyde de carbone par le poumon.
Comptes Rendus de l'Académie des sciences, 1870, t. LXX, p. 1182.
Société de Biologie, 1870, p. 97.

Dans une grande cloche tubulée de verre, je compose un mélange de 9 litres d'air et de 1 litre d'oxyde de carbone pur ; la tubulure de la cloche est fermée par un robinet à 3 voies sur lequel j'attache une muselière de caoutchouc bien fixée sur la tête d'un chien.

Au commencement d'une minute marquée sur une montre à secondes, on ouvre le robinet de la cloche ; aussitôt l'animal respire le mélange toxique ; entre la 55ᵉ et la 80ᵉ seconde, je prends dans l'artère carotide 50 centimètres cubes de sang qui est injecté dans le récipient vide d'un appareil à extraction des gaz du sang ; les gaz sont extraits à 40° ; puis par l'acide acétique et à 100° on décompose dans le vide l'hémoglobine oxycarbonée et on obtient dans une seconde cloche l'oxyde de carbone, qui est mesuré par l'absorption avec le protochlorure de cuivre dissous dans l'acide chlorhydrique.

Gaz secs à 0° et à la pression de 760 millimètres.

	ACIDE CARBONIQUE	AZOTE	OXYGÈNE	OXYDE DE CARBONE
100cc de sang artériel normal.	37cc,6	1cc,7	16cc,6	»
100cc de sang intoxiqué.. .	42 4	1 7	6 4	15 »
Dans une autre expérience :				
Entre la 10e et la 25e seconde.	40 5	1 6	14 6	4,3
Entre la 75e et la 90e seconde.	44 3	2 8	4 »	18,4

Ainsi entre 1m15s et 1m30s, l oxyde de carbone se trouvait dans le sang artériel en très forte proportion et l'oxygène en petite quantité ; l'animal courait un grand danger.

Nous avons de nombreux exemples de mort presque subite survenant chez des ouvriers que leur profession oblige à s'exposer au dégagement des vapeurs délétères, soit dans des puits, soit dans des galeries de mines dont l'air est toxique ou plus ou moins dépourvu d'oxygène.

Avant de pénétrer dans un puits, dans une fosse ou dans uue galerie, l'ouvrier doit introduire une cage renfermant un oiseau ou un petit mammifère ; si l'animal laissé dans l'atmosphère confinée pendant une heure résiste à cette épreuve, l'homme peut pénétrer sans crainte ; si l'animal succombe, on pratiquera une ventilation énergique jusqu'à ce qu'un autre animal résiste à une nouvelle épreuve. L'emploi de ce moyen pourra ainsi préserver l'bomme d'accidents trop souvent mortels.

Élimination de l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus*, 1873, t. LXXVI, p. 233. *Société de Biologie,* 1872, p. 228 ; 1873, pp. 123, 126, 349 ; 1879, p. 228.

On sait que la découverte de l'action toxique de l'oxyde de carbone appartient à Félix Leblanc.

Claude Bernard a démontré le mécanisme de l'empoisonnement produit par ce gaz et a prouvé que l'oxyde de carbone possède pour l'hémoglobine du sang une plus grande affinité que l'oxygène, de sorte que si l'on agite du sang oxygéné dans

un flacon plein d'oxyde de carbone, l'oxygène est déplacé par un volume égal de ce dernier gaz.

En faisant respirer à un lapin de la vapeur de charbon, Claude Bernard a empoisonné cet animal et a reconnu au spectroscope dans une goutte de sang prise dans l'oreille la présence de l'oxyde de carbone par les deux bandes d'absorption et par l'absence de réduction ; une demi-heure après la fin de l'intoxication partielle, le sang commençait à se réduire ; trois quarts d'heure après, il se réduisait complètement. L'élimination a donc lieu rapidement chez cet animal.

Chez le chien, par un autre procédé qui permet un dosage exact, par la mesure des pouvoirs absorbants du sang pour l'oxygène et pour l'oxyde de carbone, j'ai étudié la marche de l'élimination après un empoisonnement partiel.

	OXYGÈNE	OXYDE DE CARBONE
	—	—
1° 100^{cc} de sang normal ont absorbé. . .	23,1	22,6
2° — intoxiqué — . . .	9,8	11,1
3° — 2^{h} après l'intoxication. .	13,9	15,9
4° — 4^{h} — . .	19,7	18,5

L'élimination du poison est plus lente chez le chien que chez le lapin, mais elle a lieu à peu près proportionnellement au temps.

Sous quelle forme l'oxyde de carbone est-il éliminé ? C'est une question qui a donné lieu à de nombreuses controverses, et j'ai dû faire de grands efforts pour arriver à l'élucider. M. Pokrowski a fait des expériences qui paraissent démontrer que l'oxyde de carbone est brûlé dans l'organisme et converti en acide carbonique.

En faisant respirer un chien dans un sac de caoutchouc contenant 50 litres d'air et 380 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur (1/140), dans un volume limité dont on enlevait l'acide carbonique au fur et à mesure qu'il était exhalé, tandis qu'on remplaçait l'oxygène absorbé, j'ai reconnu que le sang normal de l'animal absorbait 25^{cc},1 d'oxygène, tandis que 100 centimètres cubes de sang intoxiqué pris une demi-heure

après le début de l'intoxication n'absorbaient que $10^{cc},5$ d'oxygène et contenaient $23,1 - 10,5 = 12^{cc},6$ d'oxyde de carbone; une demi-heure plus tard le même volume de sang renfermait $12^{cc},4$ d'oxyde de carbone; dans ces conditions l'oxyde de carbone reste dans le sang en quantité constante, il n'est donc point brûlé.

J'ai cherché si l'oxyde de carbone ne se trouverait pas en nature dans l'air expiré par un animal partiellement intoxiqué; quand on fait passer lentement un courant d'air privé complètement d'acide carbonique, mais renfermant des traces d'oxyde de carbone, dans un tube de verre vert rempli de tournure de cuivre grillée et chauffée au rouge, on trouve que le gaz conduit dans un tube contenant de l'eau de baryte donne un précipité de carbonate de baryte; la décomposition dans le tube de ce précipité par un acide et l'emploi de la pompe à mercure donne un volume d'acide carbonique égal au volume d'oxyde de carbone qui a été brûlé (Il est essentiel que le tube à combustion à ses extrémités et que les flacons absorbants soient munis de fermetures hydrauliques qui s'opposent à toute pénétration de l'air extérieur dans l'appareil).

Nouvelles recherches sur l'élimination de l'oxyde de carbone après un empoisonnement partiel. *Comptes Rendus,* 1886, t. CII, p. 825. *Société de Biologie,* 1886, pp. 166, 183.

Je croyais avoir démontré suffisamment le mode d'élimination de l'oxyde de carbone en nature, quand un travail fait dans le laboratoire de physiologie de M. le Pr Hermann, à Zürich, et qui a paru dans le vingt-sixième volume des Archives du Pflüger, a remis tout le sujet en question. M. le Dr Kreis, auteur de ce travail, a fait des expériences qui paraissent démontrer que si l'oxyde de carbone, comme je l'ai reconnu le premier, se trouve à l'état de liberté dans l'air expiré, cela tient à la présence dans le sang empoisonné de gaz oxyde de carbone en solution simple, qui posséderait une certaine tension, tandis que la plus grande partie du gaz toxique serait

brûlée et transformée en acide carbonique suivant l'opinion de Pokrowski.

C'est sur la recherche de l'oxyde de carbone dans l'air expiré après injection de sang oxycarboné dans les veines d'un animal, que M. Kreis a fondé son opinion; il a injecté chez un lapin, du poids de 1kgr,7, 35 centimètres cubes de sang oxycarboné contenant 6cc,3 d'oxyde de carbone combiné avec l'hémoglobine, puis il a recueilli l'air expiré pendant deux ou trois heures, l'a fait passer à travers les barboteurs à potasse, à travers un tube de porcelaine chauffé au rouge, et a obtenu dans l'eau de baryte un précipité; le dosage de la baryte restant par une liqueur titrée d'acide oxalique a donné 1cc,5 d'acide carbonique, correspondant à 1cc,5 d'oxyde de carbone, ou au quart du volume de gaz que renfermait le sang injecté, d'où M. Kreis conclut que les 3/4 de l'oxyde de carbone injecté échappent au mode d'élimination en nature, sont brûlés dans l'organisme et transformés en acide carbonique.

Avant de répéter cette expérience que j'avais déjà faite autrefois chez le chien, j'ai composé un mélange de 50 litres d'air et de 10 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur que j'ai fait passer rapidement à travers le tube à combustion; je n'ai obtenu que 1cc,2 d'oxyde de carbone, c'est-à-dire 1/8 du volume de ce gaz.

Au contraire, après avoir composé un autre mélange de 50 litres d'air et de 10 centimètres cubes d'oxyde de carbone, j'ai établi un barbotage très lent du gaz, qui dura quatre jours et quatre nuits et j'ai obtenu un dépôt de carbonate de baryte beaucoup plus abondant et qui a fourni 9 centimètres cubes d'acide carbonique, correspondant à 9 centimètres cubes d'oxyde de carbone; j'ai retrouvé les 9/10 de ce dernier gaz; j'en ai conclu que le barbotage doit être très lent quand le gaz combustible est très rare dans le mélange.

Chez un lapin du poids de 2kgr,3 j'ai injecté lentement par la veine jugulaire 30cc,7 de sang oxycarboné pris à un autre lapin; je recueillis en 51 minutes 80 litres d'air expiré; le sang injecté renfermait 3cc,3 d'oxyde de carbone, tandis que l'air

expiré donna 3 centimètres cubes d'acide carbonique ou d'oxyde de carbone, après un barbotage qui a duré huit jours et huit nuits ; j'ai donc retrouvé dans l'air expiré les 9/10 de l'oxyde de carbone qui avait été injecté dans le sang. Une autre expérience faite sur un chien a donné de même des résultats décisifs ; j'ai mesuré par le procédé que nous avons établi, M. Quinquaud et moi, le volume du sang que j'ai trouvé égal chez un chien à 1307 centimètres cubes. 100 centimètres cubes de sang à la fin de la mesure contenaient 10^{cc},5 d'oxyde de carbone ; on fit respirer l'animal dans l'air pendant 1 heure et 4 minutes et il fit circuler à travers ses poumons 237 litres d'air ; la capacité respiratoire du sang s'était accrue et 100 centimètres cubes de sang ne contenaient plus que 6 centimètres cubes d'oxyde de carbone ; ainsi 4^{cc},5 d'oxyde de carbone avaient été exhalés. Un calcul très simple a montré que l'animal exhalait 9^{cc},2 d'oxyde de carbone en dix minutes, si l'on admet l'exhalation en nature. Or, au bout d'une heure, on recueillit 35 litres d'air expiré en dix minutes et ce gaz analysé a fourni 9^{cc},8 d'oxyde de carbone, nombre si voisin du précédent que l'on doit conclure que *l'oxyde de carbone est entièrement éliminé en nature*.

La dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée est assez lente pour qu'il y ait dans l'air expiré recueilli après un empoisonnement partiel une très faible proportion d'oxyde de carbone. J'ai empoisonné un lapin par un mélange de 2 litres d'oxygène et de 70 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur que l'animal a respiré pendant un quart d'heure : les capacités respiratoires du sang normal et du sang intoxiqué étaient égales à 18 et à 7 environ ; puis on fit respirer l'animal dans l'air extérieur pendant 17 minutes et on recueillit ensuite l'air expiré pendant 21 minutes dans un sac de caoutchouc qui reçut 18^{l},6 d'air ; l'analyse par l'oxyde de cuivre donna 2^{cc},45 d'oxyde de carbone ou une proportion de 1/7590.

Je me suis demandé si des proportions faibles d'oxyde de carbone peuvent s'opposer à l'élimination et j'ai fait chez des

lapins des expériences comparatives qui sont résumées dans le tableau suivant :

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES	POIDS du LAPIN	COMPOSITION DU GAZ RESPIRÉ 15 MINUTES		PROPORTION d'oxyde de carbone dans le mélange employé ensuite	TEMPS pendant lequel ce mélange a été respiré	CAPACITÉS RESPIRATOIRES du sang
		Oxygène	Oxyde de carbone			
1	$2^{k},500$	2^{l}	60^{cc}	1/10000	2^{h}	$14^{cc},3$
2	2 900	2	70	1/5000	2	14 1
3	3 200	2	76	1/1000	$1^{h}20^{m}$	12 6
4	2 900	2	69	1/500	1	11 7
5	2 700	2	64	1/250	$1^{h}3^{m}$	7
6	2 900	2	58	1/200	13^{m}	5

Chez un lapin du poids de $2^{kgr},500$, empoisonné pendant un quart d'heure par un mélange de 2 litres d'oxygène et de 40 centimètres cubes d'oxyde de carbone pur, le sang normal possédait une capacité respiratoire égale à 19,1 ; après l'empoisonnement, la capacité respiratoire était égale à 7, et $1^{h}10^{m}$ après, l'animal ayant respiré de l'air pur, elle était devenue 14,6 ; elle s'était accrue de 7,6.

Si nous comparons à cette expérience type les résultats indiqués dans le tableau, nous voyons qu'une proportion d'oxyde de carbone comprise entre 1/10 000 et 1/500, dans l'air respiré par les lapins après un empoisonnement partiel, n'a point arrêté l'élimination de l'oxyde de carbone, mais l'a seulement ralentie ; aussi dans les expériences 1, 2, 3, 4, les lapins ne sont pas morts, mais ils ont été sacrifiés par section de l'artère carotide qui a fourni le sang nécessaire à la mesure des capacités respiratoires, tandis que dans les expériences 5 et 6 les lapins sont morts l'un au bout de $1^{h}3^{m}$, l'autre au bout de 13 minutes ; des proportions d'oxyde de carbone égales à 1/250 et à 1/200 qui ne seraient pas toxiques chez des animaux sains, ont arrêté l'élimination.

Ces expériences démontrent que la dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée s'effectue dans les poumons avec une certaine activité dont la limite est exactement mesurée.

Absorption par l'organisme vivant de l'oxyde de carbone introduit en proportions déterminées dans l'atmosphère. *Comptes Rendus,* 1878, t. LXXXVI, p. 895; id., 1878, t. LXXXVII, p. 193; *Société de Biologie,* 1878, p. 166.

Sur les accidents produits par l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus,* 1888, t. CVI, p. 289.

Recherches de physiologie et d'hygiène sur l'oxyde de carbone. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1889, t. XXV, p. 453-512.

Recherche physiologique de l'oxyde de carbone dans un milieu qui n'en renferme que 1/10 000. *Comptes Rendus,* 1891, t. CXIII, p. 289.

Loi de l'absorption de l'oxyde de carbone par le sang d'un mammifère vivant. *Comptes Rendus,* 1892, t. CXIV, p. 309. *Société de Biologie,* 1892, p. 163.

Recherche de la proportion d'oxyde de carbone qui peut être contenu dans l'air confiné à l'aide d'un oiseau employé comme réactif physiologique. *Comptes Rendus,* 1893, t. CXVI, p. 235.

Dès mes premières recherches (1878 et 1888) j'avais déjà remarqué que même pour des mélanges rares comme 1/1000 la proportion de gaz toxique fixé par le sang est très notable lorsque ce mélange est respiré pendant une heure par exemple.

J'avais pu sensibiliser la méthode (1891) et déterminer l'oxyde de carbone lorsqu'il est contenu dans l'air dans la proportion de 1/10 000 en faisant barbotter cet air dans du sang sous une pression de 5 atmosphères; la quantité d'oxyde de carbone ainsi fixé est beaucoup plus grande mais cette technique demande des appareils coûteux et compliqués et je me suis alors arrêté au mode opératoire suivant:

On prépare des mélanges d'air et d'oxyde de carbone dans les proportions suivantes: 1/1 000, 1/2 000, 1/3 000, 1/4 000, 1/10 000 et on fait respirer le mélange à un chien pendant 30 minutes. On trouve pour 100 centimètres cubes de sang:

Proportions du mélange. . .	$\frac{1}{1\,000}$	$\frac{1}{2\,000}$	$\frac{1}{3\,000}$	$\frac{1}{4\,000}$	$\frac{1}{10\,000}$
Oxyde de carbone. . . .	5^{cc},5	2^{cc},8	1^{cc},7	1^{cc},3	0^{cc},5

Ces nombres sont comme on le voit proportionnels à la quantité de gaz toxique introduite dans l'air.

On peut donc très facilement appliquer le procédé que je viens de décrire à la recherche et au dosage exact de l'oxyde de carbone qui peut être contenu dans l'air.

L'oiseau (canard ou coq) peut être substitué au chien et on reconnaît alors que la proportion de 1/10 000 est facilement décelable dans l'air, étant donné que pour cette proportion une quantité très mesurable de gaz toxique peut être fixé par le sang.

Construction des résultats obtenus dans l'étude de l'absorption de l'oxyde de carbone par l'animal vivant. Application. *Société de Biologie*, 1894, p. 344.

Les résultats sont obtenus en faisant respirer pendant deux heures à une même espèce animale (chiens) des mélanges d'air et d'oxyde de carbone compris entre 1/1 000 et 1/10 000. On trouvera dans l'original la courbe qui représente la quantité d'oxyde de carbone trouvé dans 100 centimètres cubes de sang en fonction de la quantité d'oxyde de carbone contenu dans le milieu respiré. Réciproquement cette courbe peut servir à déterminer la proportion d'oxyde de carbone contenu dans une atmosphère qui renferme ce gaz lorsqu'on connaît la quantité de gaz toxique fixé par 100 centimètres cubes de sang après une durée de respiration de deux heures.

Sur l'absorption de l'oxyde de carbone par le sang. Influence du temps. *Comptes Rendus*, 1894, t. CXVIII, p. 594. *Société de Biologie*, 1894, p. 251.

Dans quelles limites l'oxyde de carbone est-il absorbé par le sang d'un mammifère vivant? Quelle est l'influence du temps sur cette absorption. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXV, p. 735. *Archives de Physiologie*, 1898, t. XXX, p. 315-321.

J'avais vu dans une première série de recherches l'influence très nette du temps sur l'absorption de l'oxyde de carbone par le sang; j'ai songé à la compléter en réalisant une série d'expé-

riences très longues et très laborieuses qui consistent à faire respirer des mélanges d'air et d'oxyde de carbone en proportion déterminée et à doser le gaz toxique dans le sang.

Je n'entrerai pas dans les détails techniques et voici, résumé en tableau, le résultat de mes recherches :

MÉLANGES D'AIR ET D'OXYDE DE CARBONE	100cc DE SANG ONT ABSORBÉ EN				
	1 heure	2 heures	3 heures	4 heures	5 heures
1/1 000	8cc	10cc	18cc,3	17cc,4	16cc,8
1/2 000	4 1	7 8			
1/4 000	3	4 2			
1/6 000	1 6	3 3			
1/12 000	»	1 63			
1/15 000	0 59	1 18			
1/30 000	0 44	0 88			
1/60 000	0 22	0 45			

Il est intéressant de dégager de ce tableau la loi suivante : pour des mélanges compris entre 1/6 000 et 1/60 000 les volumes d'oxyde de carbone fixés par 100 centimètres cubes de sang sont exactement proportionnels au temps : 1,6 est à peu de chose près la moitié de 3,3 ; 0,59 est la moitié de 1,18 ; 0,44 la moitié de 0,88 ; 0,22 la moitié de 0,45.

Sur le traitement de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. *Société de Biologie*, 1896, p. 177.

Traitement par l'oxygène à la pression atmosphérique de l'homme empoisonné par l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus*, 1901, t. CXXXII, p. 574.

On reconnaît tout d'abord qu'il y a une très grande différence dans l'absorption de l'oxyde de carbone lorsque le gaz

toxique est mélangé à l'air ou à l'oxygène. C'est ainsi, par exemple, que le mélange à 1 pour 100 de CO et d'air est mortel pour le chien en vingt minutes, alors que le même mélange à 1 pour 100 de CO, mais l'oxygène étant substitué à l'air peut être respiré impunément par le chien pendant deux heures consécutives.

Il était donc rationnel de penser qu'après un empoisonnement par l'oxyde de carbone, la respiration de l'oxygène faciliterait l'élimination du gaz toxique. C'est ce que l'expérience a prouvé. Voici les tableaux qui montrent la quantité de CO contenu dans 100 centimètres cubes de sang, après un certain temps de respiration ou d'air pur ou d'oxygène.

	TEMPS COMPTÉ à partir de la FIN DE L'EMPOISONNEMENT	QUANTITÉ DE CO dans 100cc DE SANG
1re expérience	A la fin de l'empoisonnement.	18cc,1
	Après 1 heure de respiration d'air pur. . .	10 5
	— 2 — — . . .	5 4
	— 3 — — . . .	4 5
2e expérience	A la fin de l'empoisonnement.	16cc,2
	Après 15 minutes de respiration d'oxygène.	5 2
	— 30 — — .	3 4
	— 60 — — .	1 1

L'examen de ce tableau montre sans qu'il soit nécessaire d'insister davantage que l'*élimination* et la *disparition du poison sont considérablement accélérées par l'emploi de l'oxygène qui s'impose ainsi dans le traitement de l'intoxication oxycarbonée*. Il sera nécessaire d'en faire respirer alors par centaines de litres.

Nouvelles recherches sur la dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée.
Comptes Rendus, 1901, t. CXXXIII, p. 951.

Les expériences rapportées dans le travail précédent ont montré la dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée, que l'animal respire de l'air ou de l'oxygène, mais cette dissociation est beaucoup plus rapide quand il s'agit de l'oxygène.

Il était nécessaire de fixer dans les deux cas les proportions de CO dans le sang après des intervalles de temps beaucoup plus courts, ne dépassant pas une heure. Ces résultats sont consignés dans le tableau suivant:

Respiration de l'air pur.

100 centimètres cubes de sang renfermaient en oxyde de carbone:

Après 12 minutes d'empoisonnement	10m après	20m après	30m après	40m après	50m après
14cc,7	14cc,6	14cc,5	12cc,8	11cc,4	10cc,2

Respiration de l'oxygène.

100 centimètres cubes de sang renfermaient en oxyde de carbone:

Après 15 minutes d'empoisonnement	10m après	20m après	30m après	40m après	50m après
23cc,7	16cc,9	10cc,1	8cc,2	5cc,7	4cc,2

Là encore on voit que l'oxygène favorise dans des proportions considérables la dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée.

Arrêt de la dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée. *Société de Biologie,* 1902, p. 63.

Si on fait respirer à un animal intoxiqué par l'oxyde de carbone de l'air renfermant de très faibles proportions de ce gaz, un mélange à 1 pour 1000 par exemple, on reconnaît que l'élimination est très ralentie, et la proportion de CO dans le sang peut alors rester constante, ce qui indique un état d'équilibre pour lequel il n'y a plus ni fixation ni élimination.

Au point de vue pratique, dans le cas d'un empoisonnement, il découle de ces expériences la nécessité absolue, de soustraire immédiatement la victime, à l'atmosphère confinée et viciée où elle se trouve.

Sur les premières phases de l'empoisonnement aigu par l'oxyde de carbone. Définition du coefficient d'empoisonnement. *Société de Biologie*, 1903, p. 12.

Je désigne par coefficient d'empoisonnement le rapport de la quantité d'oxyde de carbone contenu dans 100 centimètres cubes de sang à la quantité d'oxygène que peut encore fixer ce sang (capacité respiratoire).

Ce coefficient d'empoisonnement d'abord petit dès le début de l'empoisonnement s'élève très rapidement chez le chien à la période ultime, au moment où l'animal est sur le point de succomber, ce coefficient atteint 3,4 et même davantage, l'animal meurt donc alors que l'hémoglobine n'est pas encore totalement saturée d'oxyde de carbone.

Il est intéressant de mentionner ici que ce coefficient d'empoisonnement déterminé chez l'homme à la suite d'une double intoxication mortelle publiée par le Pr Lacassagne, le Dr E. Martin et mon élève le Dr Nicloux (*Société de Biologie*, 1903, p. 13 et *Archives d'Anthropologie criminelle*, 1903, t. XVIII, p. 210-227), ce coefficient n'a pas dépassé 2.

Quel volume de gaz d'éclairage faut-il ajouter à l'air afin que le mélange soit toxique pour les animaux. *Société de Biologie*, 1904, p. 619.

J'ai préparé les mélanges suivants :

1°	30 litres de gaz d'éclairage. .	270 litres d'air
2°	10 — — . .	290 —
3°	1 — — . .	299 —

Les mélanges se trouvaient donc être à

$$\frac{1}{10};\quad \frac{1}{30};\quad \frac{1}{300}.$$

Ils ont été respirés par trois chiens. Avec le mélange au 1/10, l'animal est mort en 24 minutes empoisonné par l'oxyde de carbone contenu dans le gaz d'éclairage (7 à 10 pour 100); 100 centimètres cubes du sang pris après la mort dans la veine cave inférieure renfermaient $18^{cc},6$ d'oxyde de carbone.

Avec le mélange au 1/30, l'animal n'était pas mort, après une heure quinze minutes de respiration, son sang renfermait cependant 17cc,5 d'oxyde de carbone pour 100 de sang. Nul doute qu'il n'eut succombé un peu plus tard.

Avec le mélange au 1/300, après deux heures de respiration 100 centimètres cubes de sang renfermaient 4cc,4 d'oxyde de carbone.

Ces faits sont intéressants au point de vue de la médecine légale et démontrent la possibilité d'une intoxication rapide et mortelle par le gaz de l'éclairage qui agit par l'oxyde de carbone qu'il contient.

Emploi du grisoumètre dans la recherche médico-légale de l'oxyde de carbone. *Société de Biologie,* 1893, p. 162. *Comptes Rendus,* 1896, t. CXXIII, p. 1013.

Les indications du spectroscope peuvent quelquefois être incertaines dans certains cas d'intoxication par l'oxyde de carbone ; aussi il est de toute nécessité dans les expertises d'extraire les gaz du sang d'après la technique que j'ai indiquée dès 1869 et dont tous les détails sont exposés dans mes volumes « Les gaz du sang » et « L'oxyde de carbone » de l'encyclopédie Léauté.

En possession des gaz extraits du sang, l'analyse peut s'en faire par différents moyens, toutefois l'emploi du grisoumètre dont la sensibilité est très grande permet d'effectuer cette analyse dans des conditions d'une très grande exactitude.

D'autre part, il ne serait pas inadmissible de prévoir des cas dans lesquels l'empoisonnement ne serait pas arrivé à une période très avancée ou bien encore l'échantillon de sang ne dépasserait pas quelques centimètres cubes ; dans ce cas l'analyse des gaz du sang au moyen du grisoumètre s'imposerait.

Empoisonnement des grenouilles par des mélanges d'acide carbonique et d'oxygène, d'oxyde de carbone et d'oxygène. *Société de Biologie,* 1887, p. 198.

En plaçant deux grenouilles dans des flacons contenant l'un un mélange à volumes égaux d'oxygène et d'acide carbonique,

l'autre un mélange à volumes égaux d'oxygène et d'oxyde de carbone, on observe des effets bien différents: la première grenouille placée dans l'acide carbonique est morte vingt-quatre heures après, le cœur est arrêté, les oreillettes et le ventricule ne sont plus excitables; la deuxième grenouille vit deux et même trois jours dans l'oxyde de carbone, dans un mélange qui contenait le troisième jour 46 d'oxyde de carbone, 10 d'acide carbonique, 35 d'oxygène et 9 d'azote pour 100.

Ces expériences comparatives ont été faites en biver lorsque la température ambiante a varié entre 0° et 10°.

Mesure de la dose toxique de l'oxyde de carbone chez divers animaux. *Comptes Rendus,* 1880, t. XCI, p. 858. *Société de Biologie,* 1880, p. 380.

J'ai composé une série de mélanges d'oxyde de carbone et d'air que j'ai fait respirer à des animaux, afin de rechercber quelle est la dose toxique de l'oxyde de carbone dans l'air.

Chez un chien il a fallu 1/300 d'oxyde de carbone pour donner la mort, cbez, un autre la proportion nécessaire a été 1/250.

Le lapin, fait remarquable, est beaucoup plus réfractaire que le chien à l'action de l'oxyde de carbone, 1/70 de ce gaz a été nécessaire chez l'un de ces animaux, 1/60 chez un autre. Un moineau mourut au bout de $1^{h}41^{m}$ dans un mélange renouvelé qui renfermait 1/500 d'oxyde de carbone: cbez un autre moineau il a fallu 1/450.

Une expérience que j'ai appelée l'*expérience des trois animaux* m'a servi à démontrer ces différences: dans un grand sac de caoutchouc on a injecté 198 litres d'air et 2 litres d'oxyde de carbone pur, mélange à 1 pour 100. Le sac est muni de deux tubulures, l'une communique avec la muselière fixée sur la tête d'un chien, l'autre avec la muselière fixée sur la tête d'un lapin; en outre un tube en T sert à conduire dans un flacon qui contient un moineau une partie du mélange gazeux que l'on fait respirer en même temps par les trois animaux: le moineau meurt en 4 minutes, le chien en 12 minutes, le lapin résiste; 20 minutes après le début de l'expérience, on le détache, il paraît être à l'état normal.

Dans l'empoisonnement par l'oxyde de carbone ce gaz peut-il passer de la mère au fœtus? (En commun avec M. Quinquaud.) *Comptes Rendus*, 1883, t. XCVII, p. 330. *Société de Biologie*, 1883, p. 502.

Il résulte de nos expériences qui ont consisté à mesurer les capacités respiratoires du sang maternel et du sang fœtal, après un empoisonnement lent de la mère produit par l'oxyde de carbone, que 100 centimètres cubes du sang maternel avaient absorbé 16^{cc}, 5 d'oxyde de carbone, tandis que 100 centimètres cubes du sang de sept fœtus ne contenaient, après 35 minutes d'empoisonnement, que 2^{cc},9 d'oxyde de carbone, qui ont été dégagés par l'acide acétique bouillant.

Le sang maternel contenait 5,7 fois plus d'oxyde de carbone que le sang des fœtus.

Ces recherches ont été complétées plus tard pour la respiration des mélanges plus rares d'oxyde de carbone et d'air dans un travail de mon préparateur M. Maurice Nicloux (Passage de l'oxyde de carbone de la mère au fœtus. *Comptes Rendus*, 1901, t. CXXXIII, p. 67 et *Société de Biologie*, 1901, p. 711).

Dosage du chloroforme dans le sang de l'animal anesthésié (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1883, t. XCVII, p. 753.

Le principe de la méthode de dosage repose sur la distillation du sang dans le vide qui permet d'extraire la totalité du chloroforme qui y est contenu et la détermination de celui-ci par la propriété qu'il possède de réduire à 100° la liqueur cupropotassique.

Nous avons trouvé pour la dose anesthésiante la proportion de 1/2000 dans le sang.

Sur la toxicité de l'acétylène. *Comptes Rendus*, 1895, t. CXXI, p. 564.

Recherches physiologiques sur l'acétylène. *Archives de Physiologie*, 1896, t. XXVIII, p. 104-114.

L'acétylène est peu toxique. Pourtant si l'on accroît la proportion de ce gaz dans l'air respiré par l'animal jusqu'à ce qu'il

renferme 50 pour 100 de ce gaz ; même en laissant une proportion d'oxygène égale à celle que l'on trouve dans l'air, le mélange peut être mortel.

Il n'y a pas de comparaison à établir entre la toxicité de l'acétylène et la toxicité du gaz de l'éclairage éminemment plus dangereux.

Ceci confirme des expériences faites il y a quarante ans par Claude Bernard et M. Berthelot qui avaient vu qu'en opérant avec de l'air mélangé de quelques centièmes d'acétylène pur, les oiseaux (moineaux) sur lesquels ils ont expérimenté ne paraissent pas souffrir d'une manière notable.

L'urée est un poison. Mesure de la dose toxique dans le sang (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1884, t. XCIX, p. 383. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1884, t. XX, p. 393-408.

On injecte un gramme d'urée en solution dans l'eau sous la peau d'une grenouille du poids de 30 grammes. Au bout de dix minutes, on voit survenir des convulsions tout à fait semblables à celles que produit la strychnine ; bientôt, les mouvements respiratoires cessent, le cœur s'arrête et la mort survient.

Chez les mammifères, il faut employer des doses considérables pour obtenir des accidents semblables. Ainsi chez un chien du poids de $5^{kgr},800$, il a fallu injecter sous la peau 48 grammes d'urée, 1/121 du poids du corps, pour obtenir un véritable tétanos et la mort de l'animal au bout de $5^{h}20^{m}$; 100 grammes de sang pris dans la veine cave inférieure contenaient $0^{gr},652$ d'urée ; la dose toxique dans le sang était égale à 1/153. En mesurant la force musculaire à l'aide de mon myographe dynamométrique, le tendon d'Achille étant fixé à un dynamomètre et la pince électrique étant portée sous le nerf sciatique, nous avons trouvé que cette force, égale à 6 ou 7 kilogrammes chez un chien, restait exactement la même après l'injection d'une dose d'urée qui a été toxique.

Les accidents produits par l'urée ne sont pas dus à la formation d'ammoniaque, car en distillant dans le vide, à l'aide de la pompe à mercure le sang d'un animal empoisonné dans un

appareil représenté par la figure 10, page 55, et en versant le liquide distillé dans un certain volume de réactif de Nessler (obtenu en ajoutant de la potasse à une solution d'iodure de potassium et de mercure), nous n'avons pas eu la moindre coloration indiquant la présence de l'ammoniaque.

Nous avons injecté de l'urée dans le sang d'un animal après avoir pris un échantillon de sang normal pour déterminer la quantité physiologique, et nous avons constaté dans le sang pris d'heure en heure l'augmentation et la diminution progressive du chiffre de l'urée ; voici les résultats qui ont été fournis par un chien du poids de 11 kilogrammes qui a reçu 25 grammes d'urée dans la veine saphène :

Urée contenue dans 100 centimètres cubes de sang :

A l'état normal.	0,039
10 minutes après l'injection.	0,200
45 — —	0,196
1 heure 17 minutes..	0,198
1 — 50 —	0,180
2 — 50 —	0,136
4 — 3 —	0,134

Recherche de la dose toxique chez l'homme. — Nos nombreuses expériences ont montré que la dose toxique chez le chien est de 0gr,516, 0gr,652, 0gr,666. Y a-t-il chez l'homme, dans les cas d'accidents urémiques des doses comparables ? Dans un cas d'anurie chez l'homme, nous avons trouvé 0gr,410 d'urée pour 100 grammes de sang pris peu de temps avant la mort ; dans un autre exemple d'anurie non mortelle on a trouvé dans le sang 0gr,210 d'urée pour 100 ; ainsi les doses toxiques chez l'homme sont tout à fait comparables à celles que nous avons trouvées chez les animaux.

Recherches physiologiques sur l'acide cyanhydrique. *Comptes Rendus*, 1889, t. CIX, p. 502. *Société de Biologie*, 1889, p. 572. *Archives de Physiologie*, 1890, t. XXII, p. 133-145.

J'ai tout d'abord recherché les conditions expérimentales dans lesquelles un chien peut succomber après une double

injection d'amygdaline puis d'émulsine. On sait en effet que l'émulsine est capable de dédoubler l'amygdaline en acide cyanhydrique, essence d'amandes amères et glucose. L'acide cyanhydrique au 1/400 a tué un chien du poids de 6kgr,5 par l'injection intraveineuse de 2cc,3 seulement de cette solution; à supposer que la totalité du poison reste dans le sang sans diffuser ni dans la lymphe ni dans les tissus le calcul basé sur le poids du sang égal au 1/13 du poids du corps comme je l'ai établi avec Quinquaud (Voir plus haut, p. 9), montre que la proportion dans le sang ne dépasserait pas 1/100 000 environ.

Sur l'empoisonnement par l'acide cyanhydrique injecté à la surface de l'œil. *Société de Biologie,* 1890, p. 64.

Je me suis demandé si dans l'expérience classique qui consiste à verser quelques gouttes d'acide cyanhydrique sur la surface de l'œil d'un chien ou d'un lapin, ce qui produit rapidement la mort, la proximité de l'œil et des fosses nasales ne permettrait pas l'introduction dans les voies respiratoires du poison qui est très volatil.

Pour répondre à cette question je me suis opposé à la pénétration des vapeurs en fixant dans la trachée de l'animal (chien) en expérience un long tube de caoutchouc de fort diamètre.

L'expérience a montré que l'absorption à la surface de l'œil de l'acide cyanhydrique au quart suffit pour produire la mort en 2 à trois minutes, l'absorption à la surface interne des poumons ayant été complètement évitée.

Dans quelles conditions se produisent les convulsions dans l'empoisonnement par l'acide cyanhydrique. *Société de Biologie,* 1890, p. 125.

Si on injecte dans le sang des solutions d'acide très diluées depuis 1/1 000 jusqu'à 1/10 000, on ne voit pas apparaître les convulsions. Par injection sous-cutanée de solutions plus concentrées, on voit apparaître les convulsions.

Aussi lorsqu'on ne constate pas de convulsions c'est à cause de la dose employée qui est très petite, et qui est suffisante cependant pour exciter le centre des mouvements respiratoires

et pour arrêter son action, mais qui est insuffisante pour exciter les éléments nerveux centraux de manière à produire des convulsions.

Note sur l'aconitine cristalliseé (En commun avec M. Duquesnel). *Comptes Rendus*, 1871, t. LXXIII, p. 209.

On injecte sous la peau du dos d'une grenouille 1/20 de milligramme d'aconitine, on voit que, trente minutes après l'injection, le nerf sciatique a complètement perdu sa motricité, le cœur continue à battre.

On injecte chez une grenouille un milligramme de ce poison; une minute après, la circulation était déjà ralentie dans les artères de la membrane interdigitale ; elle était arrêtée au bout de trois minutes; les nerfs moteurs étaient encore excitables, le cœur ayant été arrêté primitivement, l'aconitine n'avait pas pu être transportée aux extrémités des nerfs moteurs pour les paralyser.

Chez un lapin, un milligramme d'aconitine fut injecté sous la peau et après une demi-heure de respiration artificielle on reconnut que le nerf sciatique avait perdu sa motricité.

Quelles sont les doses de gaz ou de vapeurs toxiquee qui pourraient détruire des animaux nuisiblee. *Société de Biologie*, 1888, p. 716.

J'ai essayé ; l'acide carbonique, l'oxyde de carbone, l'hydrogène sulfuré, le sulfure de carbone. On trouvera les protocoles des expériences dans l'original.

CHAPITRE VI

HYGIÈNE EXPÉRIMENTALE

Production de l'oxyde de carbone par divers combustibles. *Société de Biologie*, 1878, p. 337.

Sur les dangers du chauffage des voitures par des briquettes de charbon de Paris (En commun avec J.-V. Laborde). *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 1892, 3e série, t. XXVII, p. 83.

1° *Combustion de la braise de boulanger.*

J'ai fait brûler dans un creuset percé contenant une petite grille de fer 10 grammes de braise de boulanger allumée avec un chalumeau à gaz et air et j'ai recueilli les produits de la combustion dans un grand sac de caoutchouc placé dans une grande cuve en zinc dans laquelle on avait fait un vide partiel (aspirateur) ; j'ai ajouté aux gaz obtenus qui contenaient de l'air entraîné une certaine proportion d'oxygène et je les ai fait respirer par un chien ; l'inspiration avait lieu dans le sac, l'expiration dans l'air ; au bout de 24 minutes, l'animal mourut ; la capacité respiratoire du sang pris dans la veine cave inférieure était 5,5, celle du sang normal avait été trouvée égale à 27,5 ; ainsi le sang avait fixé 27,5 — 5,5 = 22 centimètres cubes d'oxyde de carbone. L'analyse chimique a montré en outre que 10 grammes de braise en brûlant dans l'air ont donné 2 litres d'oxyde de carbone.

2° *Combustion du tabac à fumer.*

En faisant brûler 20 grammes de tabac à fumer dans une pipe dont le tuyau était uni au ballon aspirateur j'ai obtenu des

gaz qui ont empoisonné un chien exactement comme dans l'expérience précédente.

Je me suis demandé si le fumeur absorbe de l'oxyde de carbone ; en faisant fumer deux cigares par un homme qui a brûlé 8gr,4 de tabac en une heure et 14 minutes, je n'ai pas pu reconnaître dans l'air expiré recueilli ensuite pendant 15 minutes la moindre trace d'oxyde de carbone. En faisant recommencer l'expérience d'une autre manière, en faisant fumer rapidement deux cigares et en faisant avaler la fumée, j'ai observé plusieurs accidents, des maux de tête et des troubles dans la locomotion, qui peuvent être attribués à la nicotine et à d'autres poisons, et j'ai pu constater en même temps dans l'air expiré la présence d'une petite quantité d'oxyde de carbone qui était éliminé en nature après avoir été absorbé par le sang.

3° *Briquettes de charbon de Paris.*

On a fait respirer à un chien, à l'aide d'une muselière de caoutchouc, le mélange gazeux qui circule autour de la briquette. On constate après vingt minutes de respiration une vive agitation, et l'analyse des gaz extraits du sang démontre la présence d'une grande quantité d'oxyde de carbone (15cc,5 pour 100 centimètres cubes de sang).

Il nous avait paru à cette époque comme absolument indispensable d'interdire le chauffage des voitures de fiacres ou omnibus par les briquettes de charbon de Paris.

L'usage, depuis lors, s'est, je crois, maintenu, mais il faut reconnaître que dans la plupart des cas, aujourd'hui, les produits de combustion sont éliminés au dehors.

Poêle sans tuyau. *Société de Biologie*, 1879, p. 49.

Dans une chambre d'une capacité de 45 mètres cubes, j'ai fait apporter un poêle sans tuyau dans lequel on avait introduit 2 kilogrammes de charbon de bois allumé. Dans la même chambre, on a fait placer une cage en fil de fer contenant un chien du poids de 12kgr,5 auquel on avait pris d'abord un premier échantillon de sang; au bout de 2 heures 1/2, on fit à l'animal une deuxième prise de sang; la capacité respiratoire

du sang normal était 23,2, celle du sang partiellement intoxiqué était 12,4; ainsi 23,2 — 12,4 = 10^{cc},8 d'oxyde de carbone avaient été fixés par 100 centimètres cubes de sang.

Cette expérience conduit à proscrire absolument un mode de chauffage qui a déjà produit beaucoup d'accidents.

Action physiologique des gaz produits par une combustion incomplète du gaz de l'éclairage. *Société de Biologie,* 1887, p. 779.

Lorsqu'un brûleur Bunsen brûle par « en bas », les gaz qui s'échappent renferment uno proportion d'oxyde de carbone assez considérable pour intoxiquer très profondément en une heure un chien placé dans une petite chambre vitrée de 12 mètres cubes où s'effectuait la combustion incomplète du gaz dans le brûleur.

L'animal était abattu et fort malade, son sang renfermait 20 centimètres cubes d'oxyde de carbone pour 100 centimètres cubes de sang.

Composition des produits de la combustion du gaz d'éclairage; ventilation par le gaz. *Société de Biologie,* 1888, p. 171.

Recherche dans le sang des produits de combustion du gaz de l'éclairage. *Société de Biologie,* 1888, p. 348.

Recherches physiologiques sur les produits de combustion du gaz de l'éclairage. *Bulletin de l'Académie de médecine,* 1890, 3e série, t. XXIII, p. 436-437.

L'analyse des gaz a donné les chiffres suivants (Expérience faite sur un bec d'Argand):

Pour 100, CO^2 : 5,8 ; O : 9,6 ; Az : 84,5

En créant une ventilation par l'adjonction d'un tuyau de tôle de 1 mètre de hauteur au-dessus du bec, on trouve:

Pour 100, CO^2 : 1,3 ; O : 8,6 ; Az : 80,1

La comparaison des deux analyses montre que cette fois le mélange des produits de combustion et de l'air entraîné contenait 1,3 d'acide carbonique, c'est-à-dire environ quatre fois

moins que dans l'expérience précédente ; par un calcul très simple, on trouve que 100 litres de gaz provenant du bec d'Argand ont entraîné 346 litres d'air extérieur.

La ventilation est ainsi également mesurée et il est évident qu'il serait très utile et très facile de l'établir dans les salles qui sont éclairées et chauffées par le gaz.

Si l'on fait respirer à un animal les produits de combustion du gaz on voit apparaître une grande diminution dans le contenu du sang artériel en oxygène. Il y a *anoxyhémie,* d'où utilité à faire dégager au dehors les gaz de la combustion.

Nouvelles recherches sur les produits de la combustion du coke dans le brasero. *Société de Biologie*, 1893, p. 873.

On reconnaît dans les produits de la combustion la présence d'une petite quantité d'oxyde de carbone soit que l'on prenne le gaz par un tube au-dessus du brasero soit que l'on recueille le gaz au moyen d'un vaste entonnoir, soit que l'on analyse les gaz d'une pièce fermée où se trouve allumé le brasero. On a trouvé dans le premier cas la proportion de 1/3500, dans le second cas la proportion de 1/2720, dans le troisième cas la proportion de 1/474.

Pour toutes ces déterminations nous avons employé l'animal (chien) en appliquant la loi d'absorption telle que je l'ai fait connaître (Voir plus haut p. 67).

Il est donc nécessaire, si l'on emploie le brasero des gaziers au chauffage de vastes salles, de faire disposer au-dessus du cylindre, un entonnoir et un long tuyau conduisant les gaz dans l'air extérieur, et cette disposition doit même être conseillée dans l'emploi du brasero en plein air.

Recherches comparatives sur la ventilation. *Société de Biologie*, 1894, p. 691.

Dans une chambre d'une capacité de 56 mètres cubes on fait arriver 2 mètres cubes d'acide carbonique.

Un moteur électrique permet l'obtention rapide d'un mélange gazeux rapidement homogène.

Toutes les ouvertures de la pièce étant fermées ou bouchées

on n'en constate pas moins une baisse de la proportion d'acide carbonique qui étant par exemple au début de 321/10 000 est de 315/10 000 après une demi-heure ; 231/10 000 après une heure ; 212/10 000 après une heure et demie ; 188/10 000 après deux heures ; 162/10 000 après deux heures et demie et de 8/10 000 après 16 à 18 heures.

En rendant libres deux petites ouvertures circulaires de 8 centimètres de diamètre placées à la partie supérieure de la pièce et en pratiquant une ouverture rectangulaire dans la porte d'entrée de 22 centimètres sur 6 centimètres, le chiffre d'acide carbonique qui à l'origine était de 328/10 000 est de (résultats exprimés en dix-millièmes) :

Après une demi-heure	270
— heure	199
— heure et demie	128
— deux heures et demie	68

Ce qui démontre vis-à-vis de l'expérience précédente une ventilation beaucoup plus active.

Sur les produits de combustion de l'arc électrique. *Comptes Rendus*, 1895, t. CXX, p. 815.

Le dispositif qui m'a servi pour faire cette étude est très simple : autour d'une lampe électrique j'ai fait disposer une caisse de bois, deux ajutages métalliques ont été fixés sur deux parois opposées, l'un à 2 centimètres, l'autre à 32 centimètres du fond de la boîte qui était fermée à peu près complètement par un couvercle traversé par le corps cylindrique de la lampe électrique.

Les expériences ont consisté à faire respirer par un chien, pendant une demi-heure seulement, les gaz résultant de la combustion des charbons mélangés avec l'air extérieur aspiré par les mouvements respiratoires à travers des soupapes hydrauliques ; l'inspiration avait lieu dans la caisse, l'expiration au dehors.

Dans ces conditions, on constate que les charbons de l'arc électrique dégagent de l'oxyde de carbone en petite quantité,

et on doit conseiller l'établissement d'une ventilation énergique dans les cas où l'éclairage par ces charbons se ferait dans des salles de petites dimensions.

Sur l'emploi du grisoumètre dans les recherches physiologiques. *Archives de physiologie*, 1894, t. XXVI, 583-590.

Recherches comparatives sur les produits de combustion du gaz de l'éclairage fournis par un bec d'Argand et par un bec Auer. *Comptes Rendus*, 1894, t. CXIX, p. 146.

L'emploi du bec Auer peut-il produire un empoisonnement partiel. *Comptes Rendus*, 1894, t. CXIX, p. 349.

Sur les produits de combustion d'un bec à acétylène. Mélange explosif d'acétylène et d'air. *Comptes Rendus*, 1896, t. CXXII, p. 832.

En employant la méthode de recherche physiologique de l'oxyde de carbone à savoir : absorption de l'oxyde de carbone par le sang d'un animal vivant respirant le gaz étudié, extraction des gaz du sang et analyse au grisoumètre, j'ai constaté l'absence complète de l'oxyde de carbone dans les produits de combustion provenant d'un bec d'Argand alors que j'ai pu noter la présence de très petites quantités de ce gaz dans ceux fournis par le bec Auer qui sont d'ailleurs tout à fait insuffisantes pour produire un empoisonnement partiel.

Les produits de combustion d'un bec Manchester à acétylène ne renferment pas de gaz combustible renfermant du carbone et en particulier d'oxyde de carbone.

Sur les accidents que peuvent produire les calorifères de cave. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXIV, p. 729.

Recherche de la cause qui peut expliquer les accidents que produisent quelquefois les calorifères de cave. *Société de Biologie*, 1897, p. 480.

Il n'est pas rare de voir incriminer le calorifère de cave comme producteur d'oxyde de carbone. A l'époque où j'ai entrepris ces recherches, un certain nombre de plaintes m'étaient parvenues à ce sujet. L'analyse de l'air faite chaque fois ne m'avait pas donné de résultat positif. Toutefois je fus

appelé un jour par un médecin de mes amis, membre de l'Académie de médecine, qui, deux ans auparavant avait failli périr avec toute sa famille composée de cinq personnes. Il s'agissait d'une intoxication chez un enfant dormant dans une chambre chauffée par le calorifère. L'air pris immédiatement dans un grand sac de caoutchouc a été respiré par un animal et on a constaté dans le sang la présence d'un volume important d'oxyde de carbone correspondant d'après ma loi d'absorption à la respiration d'un mélange renfermant 1/2200 d'oxyde de carbone, quantité certainement suffisante pour expliquer les maux de tête douloureux dont avait souffert l'enfant.

La cause de la production d'oxyde de carbone dans ces conditions est attribuable d'après mes expériences dont le résumé est donné ci-dessous à la réduction à l'état d'oxyde de carbone de l'acide carbonique de l'air par la paroi de fonte portée au rouge, et au passage de ce gaz à travers la paroi rouge comme l'ont démontré Sainte-Claire Deville et Troost.

La surface extérieure de la fonte portée au rouge transforme l'acide carbonique en oxyde de carbone. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXIV, p. 1138.

Cette démonstration du plus haut intérêt au point de vue de l'hygiène a été faite de la façon suivante : un poêle de corps de garde est entouré d'une enveloppe cylindrique de tôle munie d'une porte à coulisse et d'une tubulure supérieure : le poêle est maintenu au rouge.

On fait arriver de l'air renfermant de l'acide carbonique dans l'enveloppe et on astreint un animal grâce à un dispositif facile à imaginer et sur lequel il est inutile d'insister, à respirer le gaz qui a circulé dans ces conditions autour de la paroi de fonte du poêle porté au rouge. On reconnaît alors la présence de l'oxyde de carbone dans le sang en quantité très grande. Si on fait circuler de l'acide carbonique à peu près pur l'animal meurt intoxiqué par l'oxyde de carbone comme on le reconnaît par l'analyse des gaz du sang.

Je conclus de ces recherches qu'il faut abandonner le chauffage des chambres ou des appartements par des poêles de

fonte chauffés au rouge, car les parois du poêle dans ces conditions transforment en oxyde de carbone l'acide carbonique de l'air ambiant.

Nouvelles recherches comparatives sur les produits de combustion de divers appareils d'éclairage. *Comptes Rendus,* 1900, t. CXXXI, p. 929.

Les expériences ont été faites sur les becs Auer, sur les lampes à pétrole et sur les bougies.

Le dispositif expérimental est le suivant : les appareils d'éclairage sont placés dans un cylindre métallique, les produits de combustion traversent un réfrigérant et se rendent dans un gazomètre à rainure où on place un animal, l'air s'échappe ensuite par un tuyau d'échappement placé à la partie supérieure. L'analyse du sang de l'animal permet de se rendre compte de la proportion d'oxyde de carbone contenu dans l'atmosphère qu'il respire.

On a trouvé :

Bec Auer.	CO : $\frac{1}{17\,700}$
Lampes à pétrole.	CO : $\frac{1}{36\,600}$
Bougies.	CO : $\frac{1}{57\,500}$

Analyse de l'air du Métropolitain. *Société de Biologie,* 1901, p. 1059.

L'air pris dans les wagons lors de l'affluence des voyageurs ne présente pas de grandes variations comparativement à la composition de l'air normal. La proportion d'oxygène est à peine modifiée ; la proportion d'acide carbonique oscille entre 15 et 20/10 000.

Si on fait l'analyse de l'air du souterrain, on le trouve moins vicié, ce qui démontre la nécessité d'établir des ouvertures dans les parois des wagons pour assurer la ventilation. C'est d'ailleurs ce qui a été réalisé récemment.

CHAPITRE VII

VARIA

Sur la décomposition des matières albuminoïdes dans le vide (En commun avec M. Modrzejewsky). *Comptes Rendus*, 1874, t. LXXIX, p. 234. *Société de Biologie*, 1874, p. 292.

Lorsqu'on abandonne pendant plusieurs jours à une température de 40°, dans un récipient vide mis en communication avec une pompe à mercure, du sang dont on a complètement extrait les gaz, le vide ne se maintient pas ; il se produit une certaine quantité de gaz que l'on extrait chaque jour pour les soumettre à l'analyse ; 100 centimètres cubes de sang ont fourni en quatre jours 111 centimètres cubes de gaz qui contenaient :

Acide carbonique	61^cc »
Hydrogène	44 2
Azote	5 8

100 centimètres cubes de sang de bœuf chauffés à 45° pendant trente-six jours ont fourni 519^cc,7 de gaz qui contenaient :

Acide carbonique	362^cc,4
Hydrogène	143 4
Azote	13 9

100 centimètres cubes de blanc d'œufs chauffés à 45° ont donné en treize jours 256^cc,4 de gaz renfermant :

Acide carbonique	179^cc,6
Hydrogène	70 6
Azote	6 2

L'acide carbonique était mélangé d'hydrogène sulfuré.

Les matières albuminoïdes chauffées dans le vide à 40° ou à 45°, en l'absence complète de l'oxygène, présentent donc des phénomènes de dédoublement qui donnent lieu à la production d'acide carbonique, d'hydrogène et d'azote.

Il faut éviter de respirer les vapeurs très dangereuses émises par les tubes.

Recherches sur la respiration de la levure de grains à diverses températures. (En collaboration avec M. QUINQUAUD). *Comptes Rendus,* 1888, t. CVI, p. 609. *Société de Biologie,* 1888, p. 398.

Dégagement d'acide carbonique par la levure anaérobie. *Société de Biologie,* 1888, p. 400.

Recherches sur la respiration et sur la fermentation de la levure de grains. *Annales des sciences naturelles* (Zoologie), 1890, 7e série, t. X, 269-328.

Voici tout d'abord la technique que nous avons suivie : nous introduisons dans un petit flacon 5 grammes de levure, 40 centimètres cubes d'eau distillée et 40 centimètres cubes d'air pur ; le flacon fermé par un bouchon de caoutchouc bien fixé et maintenu dans une boîte de zinc de forme rectangulaire, fermée par un couvercle dont la fermeture est hermétique ; deux tubulures latérales permettent de faire circuler autour du flacon un courant d'eau à une température déterminée venant d'un grand réservoir cylindrique de fer blanc de 50 litres. La boîte est attachée sur une planche oscillante mue par un moteur hydraulique.

Les expériences de respiration durent une demi-heure ou une heure : on retire le flacon, on l'immerge dans l'eau froide pendant quelques minutes et on le porte après avoir retiré le bouchon, sous le mercure au-dessus du robinet d'une pompe à mercure, et, à l'aide d'un tube capillaire et d'une cuvette mobile, on fait pénétrer dans le récipient vide l'air, l'eau et la levure ; on extrait les gaz et on en fait l'analyse.

Le résumé de quelques expériences choisies parmi plus d'une centaine relatives à la respiration entre 0 et 46°,3 est donné dans le tableau suivant :

POIDS de LEVURE	TEMPÉRATURE	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE	OXYGÈNE FOURNI	OXYGÈNE RETROUVÉ	OXYGÈNE ABSORBÉ	ACIDE CARBONIQUE EXHALÉ	RAPPORT $\frac{CO^2}{O^2}$
5gr	0°	1 heure	8cc,16	5cc,76	2cc,4	2cc,1	0,87
Id.	13 8	30 minutes	8 3	5 86	2 44	2 6	1,06
Id.	19 5	30 —	7 96	5 1	2 8	3 9	1,4
Id.	26 »	30 —	8 3	5 2	3 1	5 8	1,9
Id.	30 3	30 —	7 96	4 03	3 93	9 4	2,4
Id.	40 »	15 —	9 26	5 8	3 46	11 2	3,2
Id.	46 3	30 —	9 2	4 26	4 94	22 3	4,5

Comme on le voit par l'examen de ce tableau, le rapport $\frac{CO^2}{O^2}$ est variable avec la température, ce qui montre que les cellules isolées de levure ne paraissent pas se comporter comme les champignons et les tissus sans chlorophylle. Ceux-ci donnent un rapport $\frac{CO^2}{O^2}$ constant, quelle que soit la température (Bonnier et Mangin).

Voici en outre les conclusions de ce long travail telles qu'on les trouvera dans les Annales.

1° Des quantités notables de gaz sont incluses dans les levures; l'acide carbonique y existe dans la proportion de 0cc,4 à 0cc,5 pour 1 gramme de levure, on note 6 pour 100 d'azote, pas d'oxygène.

2° Lorsque la levure respire à une température de 8 à 15°, la quantité d'acide carbonique produit est plus faible que la quantité d'oxygène absorbé; le rapport $\frac{CO^2}{O^2}$ est plus petit que l'unité.

3° La respiration est diminuée mais ne cesse pas à zéro; le rapport $\frac{CO^2}{O^2}$ se rapproche de l'unité; les quantités d'oxygène absorbé et d'acide carbonique produit sont à peu près égales.

4° Si la levure respire à une température de 15 à 18°, le rapport $\frac{CO^2}{O^2}$ est égal ou légèrement supérieur à l'unité.

5° Dans la respiration de la levure de 40° à 50° le rapport $\frac{CO^2}{O^2}$ est supérieur à 2 ; la levure produit beaucoup plus d'acide carbonique qu'elle n'absorbe d'oxygène ; c'est là un fait important de physiologie générale ; un des effets principaux de ces températures relativement hautes est d'exalter la production de CO^2.

7° En l'absence totale de l'oxygène, la levure peut produire de grandes quantités d'acide carbonique, en empruntant les éléments à son propre tissu.

8° La levure absorbe la même quantité d'oxygène lorsqu'elle fait fermenter ou quand elle respire sans fermentation.

9° Nous avons démontré que la fermentation se fait assez rapidement dans le vide à une température de 40° ; ces résultats nous ont conduit à proposer un nouveau procédé de dosage du sucre par fermentation.

Dosage de solutions étendues de glucose par la fermentation. (En collaboration avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1888, t. CVI, p. 1249. *Société de Biologie,* 1888, p. 401.

Nous avons étudié (Voir le travail précédent) les conditions de la respiration de la levure et nous avons démontré que dans le vide à 40° la fermentation se fait assez rapidement. Pour le dosage il suffit donc d'effectuer une fermentation dans ces conditions, et, après une heure, on extrait les gaz ; du volume de l'acide carbonique dégagé, duquel on soustrait celui donné par la levure dans le même temps, on déduit la quantité de glucose.

Les expériences comparatives que nous avons entreprises démontrent l'exactitude du procédé qui permet de n'opérer que sur des petites quantités de glucose, en même temps qu'elle met en jeu une de ses réactions les plus spécifiques.

Pression exercée par certaines graines qui se gonflent dans l'eau. *Société de Biologie,* 1888, p. 850 ; 1889, pp. 230, 337.

J'ai réalisé la démonstration de la pression que peuvent

exercer les graines lorsqu'elles se gonflent dans l'eau à l'aide de divers appareils.

Je décrirai le suivant :

Une petite marmite de Papin en fonte de fer, d'une capacité de 800 centimètres cubes est fermée par un couvercle ; celui-ci est muni d'une rainure dans laquelle on introduit une bande circulaire de caoutchouc et présente aux extrémités d'un même diamètre deux prolongements verticaux, percés chacun d'un trou, qui pénètrent de chaque côté entre deux prolongements de même forme qui font corps avec les parois du cylindre de fonte ; deux goupilles de fer, terminées par un pas de vis et par un écrou, permettent d'appliquer fortement le couvercle sur le cylindre et d'obtenir une fermeture absolument hermétique.

On remplit d'abord le cylindre de graines jusqu'à la partie moyenne ; on introduit au centre une ampoule de caoutchouc pleine de mercure d'un diamètre de 3 centimètres, dans laquelle pénètre un long tube de cristal à demi capillaire, bien calibré et gradué en centimètres ; ce tube fermé à sa partie supérieure servira de manomètre à air comprimé ; il traverse une ouverture centrale percée dans le couvercle, tandis qu'un tube de laiton qui pénètre jusqu'au fond traverse une seconde ouverture du couvercle et servira à conduire l'eau qui doit être renouvelée, on achève de remplir le cylindre de graines et on applique le couvercle.

En employant des graines de lupin j'ai vu la pression s'élever jusqu'à 15 atmosphères ; avec les graines de lentilles la pression s'est élevée jusqu'à 8 atmosphères.

On peut réaliser cette même expérience d'une autre façon en se servant d'un simple flacon à large col (fig. 13) fermé par un bouchon de caoutchouc à deux trous, l'un étant traversé par un tube manométrique à air comprimé plongeant dans une ampoule de caoutchouc pleine de mercure ; on environne l'ampoule de pois lupins que l'on fait traverser par un courant d'eau comme le montre la figure ; la pression exercée par les graines se transmet à l'ampoule et est mesurée dans le tube manométrique.

Ces expériences ont été faites tout d'abord par l'illustre expérimentateur anglais Hales, qui a obtenu avec des graines de pois immergées dans l'eau des pressions égales à deux atmosphères.

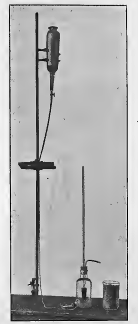


Fig. 13. — Dispositif expérimental pour mesurer la pression des graines qui se gonflent dans l'eau.

La pression ainsi exercée par certaines graines explique ce fait bien connu des anatomistes : si l'on remplit la cavité du crâne d'un homme ou d'un animal, après avoir enlevé complètement

la matière cérébrale, avec des graines sèches, des haricots ou des pois, et si l'on immerge le crâne dans un seau d'eau, le lendemain on trouve les os séparés ; par la pression des graines on obtient un crâne désarticulé.

Recherche physiologique sur l'oxygène préparé par le procédé de Boussingault. *Société de Biologie,* 1889, p. 655.

Ce procédé devenu industriel consiste à décomposer le bioxyde de baryum par la chaleur, et à fixer ensuite l'oxygène de l'air sur la baryte obtenue pour la transformer à nouveau en bioxyde de baryum. On peut se demander si l'oxygène ainsi préparé ne renfermerait pas des gaz provenant du foyer et ayant traversé les parois des tubes de fer qui deviennent perméables aux gaz à une température élevée.

En faisant respirer l'oxygène à un animal, il a été impossible de contrôler la présence de CO dans le sang, ce qui prouve que ce gaz ne renfermait pas d'oxyde de carbone.

Recherches physiologiques sur la fumée d'opium (En commun avec M. E. Martin). *Comptes Rendus,* 1892, t. CXV, p. 1012.

Nous avons recherché si la fumée d'opium avait une influence marquée sur les animaux (chiens) astreints à la respirer et nous avons trouvé que même pour des doses considérables correspondant à une quantité d'opium que pourrait à peine consommer un fumeur d'opium en trois jours, le chien n'est nullement impressionné et ne présente aucun symptôme morbide.

Nouvelles recherches physiologiques sur les mélanges explosifs de grisou et de formène. *Société de Biologie,* 1900, p. 591.

Il était démontré à la suite des observations de Haldane d'Oxford que dans les explosions de grisou qui sont si meurtrières par suite de brûlures, de l'asphyxie due à la disparition plus ou moins complète de l'oxygène ; peut s'ajouter encore l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. C'est donc que la

détonation du formène est accompagnée de production d'oxyde de carbone. L'expérience a pleinement confirmé l'exactitude de cette hypothèse.

Même en présence d'un excès d'air, là par conséquent où la combustion devrait être complète, on reconnaît dans les produits gazeux de l'explosion la présence de l'oxyde de carbone et en proportion qui est loin d'être négligeable, puisqu'elle peut atteindre la proportion de 1/700 et même de 1/600.

La démonstration de ce résultat qui, au point de vue pratique, paraît très important, a été faite par l'emploi de deux méthodes de dosage de l'oxyde de carbone : ma méthode physiologique : emploi de l'animal comme fixateur de l'oxyde de carbone et analyse ultérieure de son sang ; la méthode chimique : emploi de l'acide iodique comme réactif analytique (Gautier) et dosage de l'iode mis en liberté en suivant la technique donnée par mon élève le Dr Nicloux.

Analyse de neuf échantillons d'air recueilli dans les galeries d'une mine de houille. *Comptes Rendus*, **1902, t. CXXXV, p. 726.**

Voici le tableau qui résume ces analyses :

NUMÉROS des ÉCHANTILLONS	ACIDE CARBONIQUE	OXYGÈNE	FORMÈNE	AZOTE
1	1,3	17,3	3,5	77,9
2	1,1	17,6	6,1	75,2
3	1,1	17,6	4,6	76,7
4	1,2	16,1	7,5	75,2
5	1,8	17,1	4,1	77,0
6	1,0	17,2	6,3	75,5
7	1,0	18,0	4,6	76,4
8	1,1	17,7	4,7	76,7
9	1,1	17,8	4,4	76,7

L'examen des chiffres montre, et c'est le résultat le plus important, que la proportion de formène a varié entre 3,5 et 7,5 ; or, le chiffre 3,5 pour 100 est déjà le double de celui 1,87 que M. le Pr Chesneau regarde comme une teneur exorbitante,

pour un puits de retour d'air ; le chiffre 7,5 indique un véritable mélange détonant.

Peptone de fibrine comme aliment. *Société de Biologie*, 1884, p. 466.

J'ai composé un suc gastrique artificiel formé de :

Pepsine amylacée.	2 grammes.
Acide chlorhydrique pur. . .	4 centimètres cubes.
Eau..	1 litre.

En soumettant à l'action de ce liquide 100 grammes de fibrine du sang humide lavée plusieurs fois dans l'eau, en chauffant dans une étuve à 40°, on obtint au bout de 24 heures une solution presque complète.

Le liquide filtré sur un linge a été porté à l'ébullition et additionné de bicarbonate de soude jusqu'à réaction neutre ou légèrement alcaline. Ce liquide, après avoir été filtré sur le papier, a été donné à des malades en même temps que d'autres aliments et a paru utile à la nutrition.

Note sur l'emploi de la valériane comme topique. *Société de Biologie*, 1884, p. 532.

Le Dr Landragin, d'Aubenton (Aisne), feu mon beau-père, employait depuis longtemps et avec succès une décoction de 30 grammes de racine de valériane dans 1 litre d'eau, dans le traitement des plaies contuses et des érysipèles. Dans un cas d'écrasement du pied qui paraissait nécessiter l'amputation, l'application de compresses trempées dans ce liquide a fait disparaître aussitôt la douleur, et au bout d'un temps suffisamment long, la guérison a été complète.

M. le Dr Arragon, médecin-major, qui d'après mon conseil a employé ce procédé de pansement, a guéri rapidement des plaies contuses de la jambe par coups de pied de cheval qui sont d'ordinaire très longues à guérir ; il a constaté aussi que la douleur disparaît complètement dès que l'on applique des compresses sur la plaie ; c'est là un fait intéressant au point de vue physiologique et au point de vue médical.

A propos d'une publication du Dr Fernet: « De l'oligurie et de l'anurie hystériques et des vomissements qui les accompagnent. *Union médicale*, 1873, t. XV, p. 566. »

Il s'agit d'une observation analogue à celle observée par Charcot sur un cas d'anurie hystérique. Le célèbre clinicien m'avait appelé pour procéder à l'analyse des urines et des vomissements d'une grande hystérique qui présentait avec des symptômes d'oligurie et d'anurie complète pendant des périodes pouvant aller jusqu'à onze jours des vomissements abondants s'élevant en moyenne à un litre par jour.

L'analyse des matières vomies m'a révélé la présence de l'urée de sorte qu'il y avait suppléance de l'élimination par les reins par une élimination au niveau de l'estomac.

Ces observations démontrent quelle influence énorme, les troubles du système nerveux peuvent exercer sur la sécrétion des glandes de l'estomac et des glandes rénales.

Il faut les rapprocher aussi du fait analogue signalé par Claude Bernard. Chez des chiens vigoureux ayant subi la néphrotomie, l'illustre physiologiste a constaté des vomissements abondants de liquide renfermant du carbonate d'ammoniaque provenant de l'urée sécrétée au niveau de l'estomac; quand les vomissements cessent, les phénomènes urémiques apparaissent et causent la mort des animux.

TECHNIQUE

Appareil pour l'extraction des gaz contenus dans les liquides. *Société de Biologie*, 1869, p. 329.

Appareil pour la respiration artificielle. *Société de Biologie*, 1869, p. 258. *Archives de Physiologie*, 1870, t. III, p. 304-305.

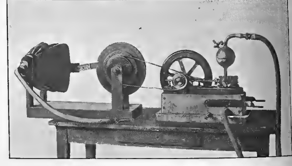


Fig. 14. — Appareil de Gréhant pour la respiration artificielle : le soufflet est manœuvré par l'intermédiaire d'une roue mue par un moteur hydraulique.

Adaptation d'un thermomètre à air à un régulateur de température, de M. d'Arsonval. *Société de Biologie*, 1887, p. 55.

Pile de laboratoire. *Société de Biologie*, 1888, p. 697.

Appareil servant à puiser les gaz qui doivent être soumis à l'analyse chimique. Aspirateur gradué. *Société de Biologie*, 1891, p. 163.

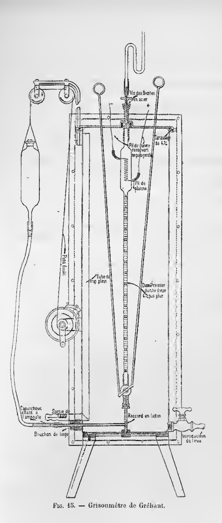


Fig. 15. — Grisoumètre de Gréhant.

Support destiné à maintenir le bras dans l'application du myographe dynamométrique. *Société de Biologie*, 1892, p. 161.

Manomètre métallique servant à la mesure de la pression du sang. *Société de Biologie*, 1892, p. 302.

Modifications apportées au grisonmètre de M. Coquillon. *Société de Biologie*, 1892, p. 806.

Nouveau perfectionnement du grisoumètre. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXIV, p. 1137.

Mode d'emploi du grisoumètre dans le dosage de mélange renfermant de petites quantités de gaz combustible. *Société de Biologie*, 1893, p. 471.

Détermination de la quantité d'eau contenue dans le sang (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1889, t. CVIII, p. 1091.

Dispositif permettant d'obtenir le dégagement complet an dehors des produits de combustion du charbon de bois ou du gaz d'éclairage. *Société de Biologie*, 1895, p. 585.

Dispositif qui rend hygiénique l'emploi du brasero des gaziers. *Société de Biologie*, 1894, p. 458.

APPENDICE

OUVRAGES PUBLIÉS

Manuel de physique médicale, 1 vol., 1869, 658 pages, 469 fig. Germer Baillière, éditeur, Paris.

Les poisons de l'air, 1 vol., 1890, 320 pages, 21 fig. J.-B. Baillière et fils, éditeurs, Paris.

Les gaz du sang, 1 vol. de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire Léauté*, 1894, 166 p., 17 fig. Masson, Gauthier Villars, éditeurs.

L'oxyde de carbone; 1 vol. de l'*Encyclopédie des Aide-Mémoire Léauté*, 1903, 187 p., 25 fig. Masson, Gauthier Villars, éditeurs.

THÈSES FAITES DANS MON LABORATOIRE

Doctorat ès sciences naturelles.

Peyrou J. 1° *Recherches sur l'atmosphère interne des plantes*; 2° *de l'action toxique et physiologique de l'hydrogène sulfuré sur les animaux*. Paris, 1888.

Philippon G. *Effets produits sur les animaux par la compression et la décompression*. Paris, 1894.

Doctorat en médecine.

Peyrou J. *Étude des variations de la capacité respiratoire du sang. Applications thérapeutiques. Antidote du saturnisme et de l'hydrargyrisme*. Paris, 1891.

Banes J. *Recherches expérimentales sur les accidents consécutifs aux inhalations prolongées d'acide carbonique*. Paris, 1897.

Nicloux M. *Recherches expérimentales sur l'élimination de l'alcool dans l'organisme. Détermination d'un « alcoolisme congénital »*[1]. Paris, 1900.

Bianchi. *Recherches expérimentales sur le traitement de l'ivresse alcoolique*. Paris, 1904.

1. Conduite également dans le laboratoire du professeur Budin à la Clinique Tarnier.

AUTRES PUBLICATIONS

Autres publications dans la *Revue générale des sciences, Revue scientifique, La Nature, La Science au* xxe *siècle*, etc.

En terminant cette notice qui résume la somme de travaux que j'ai publiés depuis quarante-cinq ans, je dois rappeler que Claude Bernard comme professeur et moi son aide-naturaliste nous sommes entrés au Muséum d'histoire naturelle en 1868, dans ce vieil établissement consacré à l'étude des richesses infinies qui nous arrivent de tous les points du monde et au culte des sciences naturelles expérimentales.

Je regarde comme un devoir de rendre hommage à la glorieuse phalange des Physiologistes français nos maîtres et nos devanciers : à Lavoisier, Bichat, Magendie, W. Edwards, Flourens, et à ceux que j'ai connus : à Poiseuille, Chevreul, Claude Bernard, Pasteur, J.-B. Dumas, Longet, Vulpian, Béclard, Philipeaux, Armand Moreau, Paul Bert, Laborde, Brown-Séquard, Rouget, Marey et à mon regretté collaborateur Quinquaud, expérimentateurs, presque tous membres de l'Académie de médecine pour lesquels je conserve la plus haute estime.

Dans mon laboratoire, nous travaillons, mon savant assistant, M. le Dr Gley et mon élève et préparateur, le Dr Nicloux, qui m'aide avec tant d'activité depuis dix ans, pour obéir à notre devise du Muséum d'histoire naturelle : *Transibunt et augebitur scientia.*

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

(ORDRE CHRONOLOGIQUE.)

Cet index tiendra lieu de table détaillée des matières ; on trouvera en effet à la suite de chaque publication en caractères italiques et entre crochets le numéro de la page de la notice où cette publication est analysée.

Nouvelles recherches sur la respiration des poissons. *Société de Biologie*, 1869, p. 330. . . . . [28]

1870

Sur la rapidité d'absorption de l'oxyde de carbone par les poumons. *Comptes Rendus*, 1870, t. LXX, p. 1182. . . . . [60]

Effets de l'insufflation pulmonaire. *Société de Biologie*, 1870, pp. 49, 116, 118. . . . . [12]

Rapidité de la combinaison de l'oxyde de carbone avec les globules du sang. *Société de Biologie*, 1870, p. 97.. . . . . [60]

Du rôle des reins dans la sécrétion de l'urée. *Société de Biologie*, 1870, p. 15. [34]

Analyse du sang. *Société de Biologie*, 1870, p. 46. . . . . . [8]

Recherches physiologiques sur la respiration des poissons. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1870-1871, t. VII, p. 213-221. [28]

Recherches physiologiques sur l'excrétion de l'urée par les reins. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1870-1871, t. VII, p. 318-335. . . . . [34]

Notes sur un appareil pour la respiration artificielle. *Archives de Physiologie*, 1870, t. III, p. 304-305. . . . . [98]

1871

Sur l'arrêt de la circulation produit par l'introduction d'air comprimé dans les poumons. *Comptes Rendus*, 1871, t. LXXIII, p. 274. [11]

Sur l'action physiologique de l'aconitine cristallisée (En commun avec M. Duquesnel). *Comptes Rendus*, 1871, t. LXXIII, p. 209. . [79]

Composition de l'air pulmonaire en rapport avec le sang. *Société de Biologie*, 1871, p. 61. . . . . [22]

1872

Recherches sur la respiration des poissons. *Comptes Rendus*, 1872, t. LXXIV, p. 621. . . . . [28]

Dosage de l'urée à l'aide du réactif de Millon et de la pompe à mercure. *Comptes Rendus*, 1872, t. LXXV, p. 143.. . . . . . . [34]

Recherches comparatives sur l'absorption des gaz par le sang. Dosage de l'hémoglobine. *Comptes Rendus*, 1872, t. LXXV, p. 495. . [7]

Arrêt d'une epistaxis par compression de l'artère faciale. *Société de Biologie*, 1872, p. 216.

Mode d'élimination de l'oxyde de carbone. *Société de Biologie*, 1872, p. 228. . . . . [61]

Mesure du plus grand volume d'oxygène que le sang peut absorber. *Société de Biologie*, 1872, p. 214. . . . . [7]

Quantité de sang qui existe dans le corps d'un animal. *Société de Biologie*, 1872, p. 9. . . . . [9]

1873

De l'asphyxie et de la cause des mouvements respiratoires chez les poissons (en commun avec M. Picard). *Comptes Rendus*, 1873, t. LXXVI, p. 646. . . . . [29]
Détermination quantitative de l'oxyde de carbone combiné avec l'hémoglobine : mode d'élimination de l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus*, 1873, t. LXXVI, p. 233. . . . . [61]
Action du chloroforme sur le caoutchouc. *Société de Biologie*, 1873, p. 150.
Sur les divers modes d'élimination de l'oxyde de carbone. *Société de Biologie*, 1873, pp. 123, 126, 349. . . . . [61]
Procédé pour déterminer la nature de certaines colorations produites par le plomb. *Archives de Physiologie*, 1873, t. V, p. 747.

1874

Sur la décomposition des matières albuminoïdes dans le vide (en commun avec M. E. Modrzejewski), *Comptes Rendus*, 1874, t. LXXIX, p. 234. [88]
Emploi de l'ammoniaque dans les ateliers d'étamage des glaces. *Société de Biologie*, 1874, p. 251.
Note sur la préparation de l'oxygène. *Société de Biologie*, 1874, p. 237.
Mode nouveau d'administration du chloroforme dans les expériences physiologiques. *Société de Biologie*, 1874, p. 269. . . . . [45]
Action de la température dans le vide sur les matières albuminoïdes. *Société de Biologie*, 1874, p. 292. . . . . [88]
Voix artificielle chez les animaux. *Société de Biologie*, 1874, p. 143. . . . . [48]

1877

Endosmose des gaz à travers les poumons. *Société de Biologie*, 1877, p. 429. [20]

1878

Absorption par l'organisme vivant de l'oxyde de carbone introduit en faibles proportions dans l'atmosphère. *Comptes Rendus*, t. LXXXVI, p. 895. [67]
Absorption par l'organisme vivant de l'oxyde de carbone introduit en proportions déterminées dans l'atmosphère. *Comptes Rendus*, 1878, t. LXXXVII, p. 193. . . . . [67]
Endosmose des gaz à travers les poumons détachés. *Société de Biologie*, 1878, p. 108. . . . . [20]
Endosmose des gaz chez l'animal vivant. *Société de Biologie*, 1878, p. 109. . . . . [22]

Sur l'exactitude de la mesure du volume des poumons. *Société de Biologie,* 1878, p. 112. . . . . [21]
Action de l'oxyde de carbone dans l'organisme. *Société de Biologie,* 1878, p. 122. . . . . [67]
Absorption de l'oxyde de carbone par l'organisme vivant. *Société de Biologie,* 1878, p. 166. . . . . [67]
Recherche de l'oxyde de carbone dans plusieurs produits de conbustion. *Société de Biologie,* 1878, p. 337. . . . . [80]
Recherches physiologiques de l'oxyde de carbone dans les produits de la combustion du gaz d'éclairage. *Société de Biologie,* 1878, p. 386. [85]

1879

Influence des mélanges d'air et d'acide carbonique sur l'exhalation pulmonaire. *Société de Biologie,* 1879, p. 161. . . . . . [24]
Recherches quantitatives sur l'élimination de l'oxyde de carbone. *Société de Biologie,* 1879, p 228. . . . . [61]
Poêles sans tuyaux. Expériences. *Société de Biologie,* 1879, p. 49. [81]
Activité physiologique des reins. *Société de Biologie,* 1879, p. 147. [37]

1880

Mesure de la dose tonique d'oxyde de carbone chez divers animaux. *Comptes Rendus,* 1880, t. XCI, p. 858. . . . . [74]
Exhalation de l'acide carbonique dans l'inflammation de la muqueuse pulmonaire. *Société de Biologie,* 1880, p. 309. . . . . . [24]
Dose toxique de l'oxyde de carbone. *Société de Biologie,* 1880, p. 380. [74]
Recherches comparatives sur l'exhalation de l'acide carbonique par les poumons et sur les variations de cette fonction. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1880, t. XVI, p. 329-346. . . . [24]

1881

Quantité d'alcool contenue dans le sang artériel pendant l'ivresse alcoolique. *Société de Biologie,* 1881, p. 314. . . . . . [53]
Dose mortelle de l'alcool dans le sang. !*Société de Biologie,* 1881, p. 403. [52]

1882

Recherches de physiologie pathologique sur la respiration (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1882, t. XCIV, p. 1393; *Société de Biologie,* 1882, p. 316; *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1882, t. XVIII, p. 469-498. . . . . [26]
Influence de la section de la moelle cervicale sur l'exhalation pulmonaire de l'acide carbonique (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1882, p. 359. . . . . [44]

Influence de la section des nerfs pneumogastriques sur l'exhalation de l'acide carbonique. Influence de la morphine sur cette fonction. *Société de Biologie*, 1882, p. 221. . . . . [44 et 59]
Mesure de la quantité de sang contenue dans l'organisme d'un mammifère vivant (En commun avec M. Quinquaud). *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1882, t. XVIII, p. 564-577. . . . . [9]

1883

Dans l'empoisonnement par l'oxyde de carbone ce gaz peut-il passer de la mere au fœtus? (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1883, t. XCVII, p. 330; *Société de Biologie*, 1883, p. 502. [75]
Dosage du chloroforme dans le sang d'un animal anesthésié (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1883, t. XCVII, p. 753. [75]
Absorption des vapeurs d'alcool absorbé par les poumons (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie*, 1883, p. 426. . . [55]
Anesthésie chloroformique (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie*, 1883, p. 440. . . . . [46]

1884

Nouvelles recherches sur le lieu de formation de l'urée (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1884, t. XCVIII, p. 1312; *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1884, t. XX, p. 317-329. [37]
L'urée est un poison, mesure de la dose toxique dans le sang (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus*, 1884, t. XCIX, p. 383; *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1884, t. XX, p. 393-408. [76]
Sur les effets de l'insufflation des poumons par l'air comprimé (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes rendus*, 1884, t. XCIX, p. 806. . . . . [12]
Peptone de fibrine comme aliment. *Société de Biologie*, 1884, p. 466. [96]
Valériane comme topique. *Société de Biologie*, 1884, p. 552. . . [96]
Distribution de l'urée dans le sang (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie*, 1884, p. 162. . . . . [38]
Danger de respirer des vapeurs nitreuses (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie*, 1884, p. 369. . . . . [59]

1885

Extraction et composition des gaz contenus dans les feuilles flottantes et submergées (En commun avec M. J. Peyrou). *Comptes Rendus*, 1885, t. C, p. 1475, et t. CI, p. 485. . . . . [31]

Mesure de la rupture latérale des artères (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1885, p. 203. . . . . . . [13]

Mesure de la pression nécessaire pour déterminer la rupture des vaisseaux sanguins. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1885, t. XXI, p. 287-297. . . . . [13]

1886

Sur l'élimination de l'oxyde de carbone après un empoisonnement partiel. *Comptes Rendus,* 1886, t. CII, p. 825. . . . . [63]

Expérience de Priestley répétée avec des animaux et des végétaux aquatiques. *Comptes rendus,* 1886, t. CIII, p. 418. . . . . . . [30]

Recherches expérimentales sur la mesure du volume du sang qui traverse les poumons en un temps donné (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1886, p. 159. . . . . [23]

Note sur l'acide carbonique du sang (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1886, p. 218. . . . . [7]

Nouvelles recherches sur l'élimination de l'oxyde de carbone après un empoisonnement partiel. *Société de Biologie,* 1886, première note p. 166, deuxième note p. 183. . . . . [63]

Moyen de prévenir les accidents produits par l'atmosphère intérieure des puits. *Société de Biologie,* 1886, p. 455.

Allocution prononcée au sujet de la mort de M. P. Bert. *Société de Biologie,* 1886, p. 497.

1887

Que deviennent les formiates introduits dans l'organisme? (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1887, t. CIV, p. 437; *Archives de Physiologie,* 1887, t. XIX, p. 197-217. . . . . [41]

L'excitation du foie par l'électricité augmente-t-elle la quantité d'urée contenue dans le sang? (En commun avec M. Mislawski). *Comptes Rendus,* 1887, t. CV, p. 349. . . . . [39]

Empoisonnement des grenouilles par des mélanges d'acide carbonique et d'oxygène, d'oxyde de carbone et d'oxygène. *Société de Biologie,* 1887, p. 198. . . . . [73]

Perfectionnement du procédé de mesure du volume des poumons par l'hydrogène. *Société de Biologie,* 1887, p. 242. . . . . . [17]

Action physiologique des gaz produits par combustion incomplète du gaz d'éclairage. *Société de Biologie,* 1887, p. 779. . . . . [82]

Éloge de Paul Bert. *Société de Biologie,* 1887, Mémoires, p. 17.

Anesthésie des rongeurs par l'acide carbonique. *Société de Biologie,* 1887, 1re note p. 52, 2e note p. 153. . . . . [47]

Anesthésie des rongeurs produite par le chloroforme. *Société de Biologie,* 1887, p. 70.

Accidents mortels a la suite de l'anesthésie par l'acide carbonique. *Société de Biologie,* 1887, p. 542. . . . . [47]
Adaptation d'un thermomètre à air à un régulateur de température de d'Arsonval. *Société de Biologie,* 1887, p. 55. . . . . [98]
Recherches de physiologie et d'hygiène sur l'acide carbonique. *Annales des sciences naturelles* (Zoologie), 1887, 7e Série, t. 11, p. 332-389: . . . . [24]

1888

Sur les accidents produits par l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus,* 1888, t. CVI, p. 289. . . . . [67]
Sur la respiration de la levure de grains à diverses températures (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1888, t. CVI, p. 609. *Société de Biologie,* 1888, p. 398. . . . . [89]
Dosages de solutions étendues de glucose par la fermentation (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1888, t. CVI, p. 1249. *Société de Biologie,* 1888, p. 401. . . . . [91]
Expériences comparatives sur la respiration élémentaire du sang et des tissus (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1888, t. CVI, p. 1439 . . . . [14]
Composition des produits de la combustion du gaz d'éclairage et ventilation par le gaz. *Société de Biologie,* 1888, p. 171. . . . [82]
Recherches dans le sang des produits de la combustion du gaz de l'éclairage. *Société de Biologie,* 1888, p. 348.. . . . . . [82]
Pile de laboratoire. *Société de Biologie,* 1888, p. 697. . . . . . [98]
Dose de gaz ou de vapeurs toxiques qui pourraient détruire des animaux nuisibles. *Société de Biologie,* 1888, p. 716. . . . . . . [79]
Pression exercée par certaines graines qui se gonflent dans l'eau. *Société de Biologie,* 1888, p. 850. . . . . [91]
Dégagement d'acide carbonique par la levure anaérobie (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1888, p. 400. . . [89]
A quel moment une substance dissoute injectée dans l'estomac ou sous la peau apparait-elle dans le sang ? (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie,* 1888, p. 663. . . . . [42]

1889

Détermination exacte de la quantité d'eau contenue dans le sang (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1889, t. CVIII, p. 1091. [100]
Dosage de l'urée dans le sang et dans les muscles (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1889, t. CVIII, p. 1092. . [38]
Recherches physiologiques sur l'acide cyanhydrique. *Comptes Rendus,* 1889, t. CIX, p. 502. *Société de Biologie,* 1889, p. 572. . . [77]

Pression exercée par les graines qui se gonflent dans l'eau. *Société de Biologie,* 1889, p. 230. . . . . [91]

Pression exercée par les graines de Lupin placées dans un courant d'eau. *Société de Biologie,* 1889, p. 337. . . . . [91]

Recherches physiologiques sur l'oxygène préparé par le procédé de Boussingault. *Société de Biologie,* 1889, p. 655. . . . . . [94]

Recherches de physiologie et d'hygiène sur l'oxyde de carbone. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie,* 1889, t. XXV, p. 453-512. [67]

1890

Empoisonnement par l'acide cyanhydrique injecté à la surface de l'œil. *Société de Biologie,* 1890, p. 64. . . . . [78]

Dans quelles conditions se produisent les convulsions dans l'empoisonnement par l'acide cyanhydrique. *Société de Biologie,* 1890, p. 125. . . . . [78]

Myographe dynamométrique. *Société de Biologie,* 1890, p. 563. [48]

Recherches physiologiques sur l'acide cyanhydrique. *Archives de Physiologie,* 1890, t. XXII, p. 133-145. . . . . [77]

Recherches physiologiques sur les produits de combustion du gaz de l'éclairage. *Bulletin de l'Académie de Médecine,* 1890, 3ᵉ série, t. XXIII, p. 436-437. . . . . [82]

Dosage exact de l'acide carbonique contenu dans les muscles et dans le sang. *Archives de Physiologie,* 1890, t. XXII, p. 533-539. [15]

Recherches sur la respiration et sur la fermentation de la levure de grains (En commun avec M. Quinquaud). *Annales des sciences naturelles (Zoologie),* 1890, 7ᵉ série, t. X, p. 269-328. . . . . . . [89]

1891

Sur un nouvel appareil destiné à mesurer la puissance musculaire. *Comptes Rendus,* 1891, t. CXIII, p. 211. . . . . [48]

Mesure de la puissance musculaire chez les animaux soumis à un certain nombre d'intoxications (En commun avec M. Quinquaud). *Comptes Rendus,* 1891, t. CXIII, p. 213. . . . . [49]

Recherches physiologiques de l'oxyde de carbone, dans un milieu qui n'en renferme qu'un dix-millième. *Comptes Rendus,* 1891, t. CXIII, p. 289. . . . . [67]

Variations produites dans l'exhalation pulmonaire de l'acide carbonique dans l'état de repos ou de contraction d'un certain nombre de muscles. *Société de Biologie,* 1891, p. 14. . . . . [26]

Appareil servant à puiser les gaz qui doivent être soumis à l'analyse chimique. Aspirateur gradué, application. *Société de Biologie,* 1891, p. 163. . . . . [98]

Formation de l'urée par la décharge électrique de la torpille (En commun avec M. Jolyet). *Société de Biologie,* 1891, p. 687. [40]

Mesure de la puissance musculaire dans l'empoisonnement par le curare (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie*, 1891, p. 242. [49]

Mesure de la puissance musculaire dans l'alcoolisme aigu (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie*, 1891, p. 415. . . [49]

Mesure de la puissance musculaire dans l'empoisonnement par l'oxygène comprimé (En commun avec M. Quinquaud). *Société de Biologie*, 1891, p. 417. . . . . [49]

Dosage comparatif de l'acide carbonique contenu dans les muscles et les tissus. *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 1891, 3e série, t. XXV, p. 286-288.. . . . . [15]

1892

Loi de l'absorption de l'oxyde de carbone par le sang d'un mammifère vivant. *Comptes Rendus*, 1892, t. CXIV, p. 309: *Société de Biologie*, 1892, p. 163. . . . . [67]

Recherches physiologiques sur la fumée d'opium (En commun avec M. Ém. Martin). *Comptes Rendus*, 1892, t. CXV, p. 1012. . [94]

Support destiné à maintenir le bras dans l'application du myographe dynamométrique. *Société de Biologie*, 1892, p. 161. . . . [99]

Manomètre métallique servant à la mesure de la pression du sang. *Société de Biologie*, 1892, p. 302. . . . . [99]

Grisoumetre modifié de Coquillon. *Société de Biologie*, 1892, p. 806. [99]

Sur les dangers du chauffage des voitures par des briquettes de charbon de Paris (En commun avec J.-V. Laborde). *Bulletin de l'Acadecine de Médecine*, 1892, 3e série, t. XXVII, p. 83. . . . [80]

1893

Recherche de la proportion de l'oxyde de carbone qui peut être contenue dans l'air confiné à l'aide d'un oiseau employé comme réactif physiologique. *Comptes Rendus*, 1893, t. CXVI, p. 235. . . [67]

Application du grisoumètre à la recherche médico-légale de l'oxyde de carbone. *Société de Biologie*, 1893, p. 162. . . . . . . [73]

Mode d'emploi du grisoumètre dans le dosage de mélanges renfermant 1/100 de gaz combustible. *Société de Biologie*, 1893, p. 471. [100]

Absorption par le sang de l'hydrogène et du protoxyde d'azote introduit dans les poumons; élimination de ces gaz. *Société de Biologie*, 1893, p. 616. . . . . [15]

Nouvelles recherches sur les produits de la combustion du coke dans le brasero. *Société de Biologie*, 1893, p. 873. . . . . . . [83]

1894

Influence du temps sur l'absorption de l'oxyde de carbone par le sang.

Comptes Rendus, 1894, t. CXVIII, p. 594; *Société de Biologie,* 1894, p. 251. . . . . [68]

Recherches comparatives sur les produits de combustion du gaz de l'éclairage, fournis par un bec d'Argand et par un bec Auer. *Comptes Rendus,* 1894, t. CXIX, p. 146. . . . . [85]

L'emploi du bec Auer peut-il produire un empoisonnement partiel? *Comptes Rendus,* 1894, t. CXIX, p. 349. . . . . [85]

Absorption de l'oxyde de carbone par l'animal vivant. *Société de Biologie,* 1894, p. 344. . . . . [68]

Dispositif qui rend hygiénique l'emploi du brasero des gaziers. *Société de Biologie,* 1894, p. 458.. . . . . [100]

Recherches comparatives sur la ventilation. *Société de Biologie,* 1894, p. 691. . . . . [83]

Présence dans le sang normal d'une trace de gaz combustible. *Société de Biologie,* 1894, p. 459; *Archives de Physiologie,* 1894, t. XXVI, p. 620-621.. [16]

Sur l'emploi du grisoumètre dans les recherches physiologiques. *Archives de Physiologie,* 1894, t. XXVI, p. 583-590. . . . [85]

1895

Sur les produits de combustion de l'arc électrique. *Comptes Rendus,* 1895, t. CXX, p. 815. . . . . [84]

Injection d'alcool éthylique dans le sang veineux. *Comptes Rendus,* 1895, t. CXX, p. 1154. . . . . [53]

Sur la toxicité de l'acétylène. *Comptes Rendus,* 1895, t. CXXI, p. 564. . . . . [75]

Dispositif permettant d'obtenir le dégagement complet au dehors des produits de combustion du charbon de bois ou du gaz d'éclairage. *Société de Biologie,* 1895, p. 585. . . . . [100]

1896

Sur les produits de combustion d'un bec à acétylène. Mélange explosif d'acétylène et d'air. *Comptes Rendus,* 1896, t. CXXII, p. 832. [85]

Dosage de l'alcool éthylique dans le sang, après l'injection directe dans les veines ou après l'introduction des vapeurs alcooliques dans les poumons. *Comptes Rendus,* 1896, t. CXXIII, p. 192. . . . [53]

Emploi du grisoumètre dans la recherche médico-légale de l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus,* 1896, t. CXXIII, p. 1013. . . . [73]

Traitement de l'empoisonnement par l'oxyde de carbone. *Société de Biologie,* 1896, p. 177. . . . . [69]

Dosage de l'alcool dans le sang recueilli d'heure en heure. *Société de Biologie,* 1896, p. 839. . . . . [53]

Recherches physiologiques sur l'acétylène. *Archives de Physiologie,* 1896, t. XXVIII, p. 104-114. . . . . [75]

1897

Sur les accidents que peuvent produire les calorifères de cave. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXIV, p. 729.. . . . . [85]
Nouveau perfectionnement du grisoumètre. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXIV, p. 1137. . . . . [99]
La surface extérieure de la fonte portée au rouge transforme l'acide carbonique en oxyde de carbone. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXIV, p. 1138.. [86]
Dans quelles limites l'oxyde de carbone est-il absorbé par l'organisme d'un mammifère vivant? Quelle est l'influence du temps sur cette absorption. *Comptes Rendus*, 1897, t. CXXV, p. 735. . . . [68]
Mesure du plus grand effort que puisse produire un muscle isolé à l'aide d'un myodynamomètre à sonnerie. *Société de Biologie*, 1897, p. 296. [50]
Recherche de la cause qui peut expliquer les accidents que produisent quelquefois les calorifères de cave. *Société de Biologie*, 1897, p. 480. [85]
Éloge de Gallois. *Société de Biologie*, (Mémoires), 1897, p. 15.

1898

Recherches sur les limites de l'absorption de l'oxyde de carbone par le sang d'un mammifère vivant. *Archives de Physiologie*, 1898, t. XXX, p. 315-321.. . . . . [68]

1899

Recherches sur l'alcoolisme aigu: dosage de l'alcool dans le sang et dans les tissus. *Comptes Rendus*, 1899, t. CXXIX, p. 746. . . . [56]
Recherches expérimentales sur l'intoxication par l'alcool éthylique. *Société de Biologie*, 1899, p. 808. . . . . [56]
Construction de courbes qui indiquent les proportions d'alcool que renferme le sang après l'ingestion dans l'estomac de volumes déterminés d'alcool éthylique. Applications. *Société de Biologie*, 1899, p. 946. . . . . [56]

1900

Nouvelles recherches comparatives sur les produits de combustion de divers appareils d'éclairage. *Comptes Rendus*, 1900, t. CXXXI, p. 929. . . . . [87]
Nouvelles recherches physiologiques sur les mélanges explosifs de grisou et de formène. *Société de Biologie*, 1900, p. 591. . . . [94]
Nouvelles recherches sur l'alcoolisme aigu. *Société de Biologie*, 1900, p. 894. *Journal de l'Anatomie et de la Physiologie*, 1900, t. XXXVI, p. 143-159.. . . . . [56]

1901

Traitement par l'oxygène, à la pression atmosphérique, de l'homme empoisonné par l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus*, 1901, t. CXXXII, p. 574. . . . . [69]

Nouvelles recherches sur la dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée. *Comptes Rendus*, 1901, t. CXXXIII, p. 951. . . . . [70]

Analyse de l'air du métropolitain. *Société de Biologie*, 1901, p. 1059. . . . . [87]

1902

Analyse de neuf échantillons d'air recueilli dans les galeries d'une mine de houille. *Comptes Rendus*, 1902, t. CXXXV, p. 726. [95]

Arrêt de la dissociation de l'hémoglobine oxycarbonée. *Société de Biologie*, 1902, p. 63. . . . . [71]

1903

Recherche et dosage de l'urée dans les tissus et dans le sang des animaux vertébrés. *Comptes Rendus*, 1903, t. CXXXVII, p. 558. [38]

Sur les premières phases de l'empoisonnement aigu par l'oxyde de carbone ; définition du coefficient d'empoisonnement. *Société de Biologie*, 1903, p. 12. . . . . [72]

Toxicité de l'alcool éthylique. *Société de Biologie*, 1903, p. 225. [52]

Démonstration du passage dans l'estomac contenant de l'eau de l'alcool éthylique injecté dans le sang. *Société de Biologie*, 1903, p. 376. [43]

Influence de l'exercice musculaire sur l'élimination de l'alcool éthylique introduit dans le sang. *Société de Biologie*, 1903, p. 802. . [49]

Dosage de l'alcool dans le sang après l'ingestion dans l'estomac d'un volume mesuré de ce liquide ; courbe complète. *Société de Biologie*, 1903, p. 1264. . . . . [56]

1904

Sur l'exactitude du procédé de dosage de l'urée par l'acide nitreux. *Société de Biologie*, 1904, p. 465. . . . . [34]

Quel volume de gaz d'éclairage faut-il ajouter à l'air afin que le mélange soit toxique pour les animaux. *Société de Biologie*, 1904, p. 619. . . . . [72]

Mesure de l'activité physiologique des reins par le dosage de l'urée dans le sang et dans l'urine. *Journal de Physiologie et de Pathologie générale*, 1904, t. VI, p. 1-8. . . . . [37]

EXPLICATION DES PLANCHES

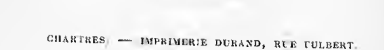
PLANCHE I. — Hémoglobine cristallisée du chien (figure supérieure), du cobaye (figure inférieure).

PLANCHE II. — Globules rouges du sang de l'homme. Grossissement : 675 diamètres.

PLANCHE III. — Coupe du poumon du cobaye. Grossissement : 55 diamètres.

PLANCHE IV[1]. — Injection du rein par l'artère rénale démontrant les artères des glomérules de Malpighi. Grossissement : 55 diamètres.

1. *Les planches II, III, IV sont tirées de l'Atlas d'Histologie normale* de RABAUD et MONPILLARD, 1 vol., 1900, 87 p., 50 planches.


CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT.



Prép. Et. Rabaud.
Microphot. F. Monpillard.

Grav. et Imp. Prieur et Dubois
Puteaux.

Georges CARRÉ et C. NAUD, Éditeurs

Planche II.

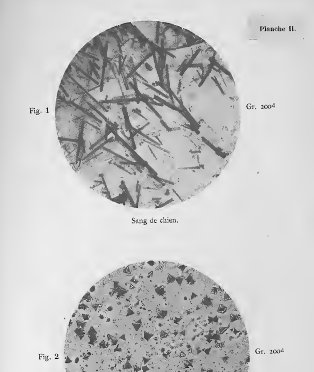


Fig. 1 Gr. 200d

Sang de chien.

Fig. 2 Gr. 200d

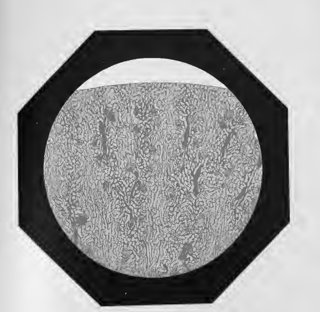
Sang de cobaye.



Prép. Et. Rabaud.
Microphot. F. Monpillard.

Grav. et Imp. Prieur et Dubois
Puteaux.

Georges CARRÉ et C. NAUD, Éditeurs



Prép. Et. Rabaud.
Microphot. F. Monpillard.

Grav. et Imp. Prieur et Dubois
Puteaux.

Georges CARRÉ et C. NAUD, Éditeurs